



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE IBN KHALDOUN - TIARET

MEMOIRE

Présenté à :

FACULTÉ MATHÉMATIQUES ET INFORMATIQUE
DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE

Pour l'obtention du diplôme de :

MASTER

Spécialité : Réseaux et Télécommunications

Par :

- BERKANE Amina
- BELHADJ Siham

Sur le thème

La Simulation d'un protocole de routage hiérarchique pour les réseaux de capteurs sans fil

Soutenu publiquement le... / 10 / 20xx à Tiaret devant le jury composé de :

Mr BAKKAR Khaled

Grade Université M.A.A

Président

Mr BENGHENI Abdelmalek

Grade Université M.C.B

Encadreur

Mr BOUALEM Adda

Grade Université M.A.A

Examineur

Année universitaire 2019 – 2020

Remerciements

C'est avec un grand plaisir que nous réservons cette page en signe de gratitude et de profonde reconnaissance à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin pour la réalisation de ce modeste travail.

Nous remercions notre encadreur Dr. BENGHANI Abdelmalek pour sa précieuse assistance, sa disponibilité, son soutien et l'intérêt qu'il a manifesté pour ce travail, ainsi que pour les discussions, le soutien, la bonne humeur et pour avoir accepté de valider les résultats de notre travail et nous avoir fait partager leurs connaissances.

Nos remerciements aux membres du jury, d'avoir accepté de juger notre travail.

 *Dédicaces* ... 

En témoignage de ma gratitude et mon amour

Je dédie ce travail

À ma chère famille ;

À Ma tendre Mère ;

À Mon très cher Père ;

À Mes sœurs et frères ;

À tous ceux qui me sont chers et proches, à tous ceux qui ont semé en moi à tout point de vue, soyez sûrs que ce travail est le résultat de votre confiance en moi. Soyez-en remerciés.

Amina

Dédicaces ...

En témoignage de ma gratitude et mon amour

Je dédie ce travail

À mes très chers parents, à mes sœurs et frères, à tous mes proches et mes très chers amis qui m'ont accompagné, soutenu et encouragé tout au long de la réalisation de ce mémoire.

À tous ceux que j'aime ;

Et à tous ceux qui m'aiment ;

Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite.

Siham

Introduction générale..... 1

Chapitre I : Les Réseaux de Capteurs

I.1 Introduction 3

I.2 Notion de capteur 3

 I.2.1 Définition 3

 I.2.2 Capteur intelligent 3

 I.2.3 Architecture d'un capteur..... 4

 I.2.3.1 Architecture matérielle 4

 I.2.3.2 Architecture logicielle 5

 I.2.4 Zone de couverture 5

I.3 Réseaux de capteurs sans fil (RCSFs) 6

 I.3.1 Présentation d'un RCSF. 6

 I.3.2 La pile protocolaire 7

 I.3.2.1 Les rôles des couches..... 8

 I.3.2.2 Les différents plans de gestion 9

 I.3.3 Caractéristiques des RCSFs. 10

 I.3.4 Classification des applications des RCSF 11

 I.3.4.1 Applications orientées temps. 11

 I.3.4.2 Applications orientées événements 12

 I.3.4.3 Applications orientées requêtes 12

 I.3.4.4 Applications hybrides..... 12

 I.3.5 Domaines d'applications des RCSFs 12

 I.3.6 Architecture des RCSFs 14

 I.3.6.1 RCSFs plats..... 14

 I.3.6.2 RCSF hiérarchique. 15

 I.3.7 Défis des RCSFs 15

I.4 Conclusion..... 16

Chapitre II: Les protocoles de Routage pour les RCSFs

II.1 Introduction. 17

II.2 Protocoles de routage..... 17

 II.2.1 Définition du routage..... 17

 II.2.2 Les différents types de routage 17

 II.2.2.1 Le routage à plat..... 18

 II.2.2.2 Le routage basé sur la localisation 20

 II.2.2.3 Le routage hiérarchique 20

II.3. Quelques travaux préalables 22

II.4 Clustering et partitionnement de données..... 22

 II.4.1 Définition 22

 II.4.2 Méthodes de clustering. 22

 II.4.2.1 Les méthodes hiérarchiques 23

 II.4.2.2 Les méthodes de partitionnement..... 23

 II.4.2.3 Les méthodes basées sur la densité. 23

 II.4.2.4 Les méthodes basées sur la grille 24

 II.4.3 Domaines d'applications du clustering 24

 II.4.4 Types de transmission dans le routage 24

 II.4.5 Greedy forwarding 25

II.5 Conclusion 26

Chapitre III: Le protocole de routage LEACH

III.1 Introduction..... 27
III.2 Description du protocole LEACH..... 27
 III.2.1 L’objectif du protocole LEACH..... 28
 III.2.2 Le principe de base du protocole LEACH 28
 III.2.3 Les différentes phases du protocole LEACH 29
 III.2.3.1 La phase de configuration du cluster (setup phase)..... 29
 III.2.3.2 La phase de transmission de données (steady state phase) 31
 III.2.4 Les avantages du protocole LEACH 32
 III.2.5 Les inconvénients du protocole LEACH 32
 III.2.6 Limitations du protocole LEACH 33
 III.2.7 Les différentes extensions du protocole LEACH..... 34
III.3 Conclusion 36

Chapitre IV : La Simulation du protocole LEACH

IV.1 Introduction 37
IV.2 L’environnement de simulation 37
 IV.2.1 Définition du MATLAB..... 37
 IV.2.2 Les particularités du MATLAB 37
IV.3 La simulation 38
 IV.3.1 Les paramètres de simulation utilisés..... 38
 IV.3.2 Les métriques de performance 40
 IV.3.3 Le fonctionnement du simulateur. 40
 IV.3.4 Le bloc fonctionnel du simulateur 41
 IV.3.5 La description du simulateur et les résultats de simulation 42
 IV.3.5.1 L’interface principale 42
 IV.3.5.2 Déploiements des nœuds de capteur 42
 IV.3.5.3 La déroulement du protocole LEACH 43
IV.4 Conclusion 48

Conclusion générale

Bibliographie

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Figure 1.1: Nœud capteur sans fil .	3
Figure 1.2: capteur intelligent .	4
Figure 1.3: Architecture matérielle d'un capteur sans fil.....	4
Figure 1.4: zone de couverture d'un capteur.....	6
Figure 1.5: Réseaux de Capteur Sans Fil (RCSF).....	7
Figure 1.6: La pile protocolaire des RCSF (RCSF).....	8
Figure 1.7: Classification des applications des RCSFs	11
Figure 1.8: Utilisation des RCSF dans l'agriculture	11
Figure 1.9: Un service militaire utilisant les RCSF	12
Figure 1.10: Quelques domaines d'applications des RCSFs	14
Figure 1.11: Les types d'architecture des RC.....	14
Figure 1.12: Architecture plate.	15
Figure 1.13: Architecture hiérarchique.....	15
Figure 2.1: Destination Sequenced Distance Vector.....	18
Figure 2.2: Dynamic Source Routing.....	19
Figure 2.3: Optimized Link State Routing.	19
Figure 2.4: Greedy Forwarding basée sur la distance	25
Figure 3.1: Algorithme de routage LEACH.....	28
Figure 3.2: Les deux phases d'exécution pour le protocole LEACH	29
Figure 3.3: La phase d'initialisation (set-up).....	30
Figure 3.4: Répartition du temps dans la phase de transmission	31
Figure 3.5: La phase de transmission (steady state phase)	32
Figure 4.1: Fonctionnement du simulateur réalisé	40
Figure 4.2 : Schéma du bloc fonctionnel du simulateur réalisé.....	41
Figure 4.3 : l'interface de la simulation.....	42
Figure 4.4 : Déploiement aléatoire de 100 nœuds capteurs.....	43
Figure 4.5 : Élection des CH et création des clusters associés	43
Figure 4.6: Le nombre de nœuds morts.....	44
Figure 4.7: Le nombre de nœuds vivants	44
Figure 4.8: Le nombre de cluster heads par tour	45
Figure 4.9: Paquets envoyés à CH	46
Figure 4.10: Paquets envoyés à SB.....	46
Figure 4.11: La somme de quantité de données reçues par SB et CH.	47
Figure 4.12: Energie résiduelle moyenne.....	47
 Tableau 4.1: Paramètres de simulation.....	 39

LISTE DES ABREVIATIONS

RCSF	: Réseau de capteurs sans fil.
BS	: Base Station.
CH	: Cluster Head.
DSDV	: Destination Sequenced Distance Vector.
DSR	: Dynamic Source Routing.
OLSR	: Optimized Link State Routing.
GPS	: Global Positioning System.
HEED	: Hybrid, Energy-Efficient, Distributed approach.
LEACH	: Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy.
PEGASIS	: Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems.
LEACH-D	: LEACH- Density of node distribution.
LEACH-L	: LEACH -Energy Balanced.
TDMA	: Time Division Multiple Access
CDMA	: Code Division Multiple Access
LEACH-C	: LEACH-Centralised.
LEACH-F	: LEACH avec grappe fixes.
V-LEACH	: Version of- LEACH.
MATLAB	: Matrix Laboratory.
MFR	: Most Forward within Radius.
NFR	: Nearest Forward Progress.
MPR	: Multi-Point Relais.
WSN	: Winreless Sensor Network.
ADC	: Analog to Digital Converter.
OSI	: Open Systems Interconnection.
MAC	: Medium Access Control.
GA	: Genetic Algorithm.
PSO	: Particle Swarm Optimization.
ABC	: Artificial Bee Clonies.
GN	: Nœuds membres ou Générales.

الملخص

شبكة الاستشعار اللاسلكية (RCSF) هي تقنية ناشئة تهدف إلى توفير إمكانيات مبتكرة. يجب أن يستمر استخدامها في الزيادة وهذا في العديد من المجالات ، سواء كانت علمية أو لوجستية أو عسكرية أو حتى صحية. ومع ذلك ، فإن حجم المستشعرات يمثل قيداً رئيسياً ، خاصة من حيث استقلالية الطاقة وبالتالي العمر الافتراضي لأن البطارية يجب أن تكون صغيرة جداً ، ولهذا السبب تركز العديد من الدراسات اليوم على إدارة البطارية. الطاقة التي تستهلكها أجهزة الاستشعار في الشبكة مع الأخذ في الاعتبار ، أولاً وقبل كل شيء ، خوارزميات توجيه البيانات والاتصالات. ولهذا الغرض سوف ندرس خوارزميات التوجيه الهرمي. من أجل تأكيد فعالية هذه البروتوكولات ، قمنا بمحاكاة بروتوكول LEACH الأساسي بين هذه البروتوكولات المدروسة.

الكلمات المفتاحية: شبكة الإستشعار اللاسلكية (RCSF) ؛ LEACH ؛ كفاءة الطاقة ؛

التوجيه.

Résumé

Le réseau de capteurs sans fil (RCSF) est une technologie émergente qui vise à offrir des capacités innovantes. Leur utilisation ne devrait cesser d'augmenter et ceci dans nombreux domaines qu'ils soient scientifiques, logistiques, militaires ou encore sanitaire. Cependant, la taille des capteurs constitue une limitation importante, principalement en terme d'autonomie d'énergie et donc de durée de vie car la batterie doit être très petite, c'est pourquoi de nombreux travaux portent aujourd'hui sur la gestion de l'énergie consommée par les capteurs dans un réseau en prenant en considération, en premier lieu, les communications et les algorithmes de routage des données. C'est dans ce but que nous allons étudier les algorithmes de routage hiérarchique. Afin de confirmer l'efficacité de ces protocoles nous avons simulé le protocole de base LEACH parmi ces protocoles étudiés.

Mots clés : RCSF, LEACH, efficacité d'énergie, Routage.

Abstract

The Wireless Sensor Network (RCSF) is an emerging technology that aims to provide innovative capabilities. Their use should continue to increase and this in many fields, be they scientific, logistics, military or even health. However, the size of the sensors is a major limitation, mainly in terms of energy autonomy and therefore lifetime because the battery must be very small, which is why many studies today focus on battery management. Energy consumed by sensors in a network taking into consideration, first of all, communications and data routing algorithms. It is for this purpose that we will study hierarchical routing algorithms. In order to confirm the effectiveness of these protocols, we simulated the basic LEACH protocol among these studied protocols.

Key words: WSN, LEACH, energy efficiency, Routing.

Introduction Générale

Introduction générale

Au cours de ces dernières années, une nouvelle technologie promet de révolutionner l'interaction avec l'environnement physique qui nous entoure, l'une de ces technologies est la naissance des réseaux de capteurs sans fil (RCSFs), qui se composent d'un ensemble de petits nœuds de capteurs électroniques, autonomes, économiques et capables de communiquer entre eux sans fil. Ces nœuds sont capables de recueillir et de fournir des informations utiles par l'agrégation des mesures prises des zones surveillées. Plusieurs domaines d'application sont alors envisagés, allant du domaine médical jusqu'au domaine militaire, en passant par les applications environnementales et domotiques. Les principaux problèmes dans les réseaux de capteurs sans fil sont le routage des données, la consommation de l'énergie, la sécurité, l'agrégation de données, la mobilité imprévisible des nœuds, etc., car les nœuds de capteurs de ce type de réseau peuvent être déployés dans des zones hostiles.

Pour prolonger la durée de vie d'un réseau de capteurs sans fil tout en assurant les trois tâches principales d'un nœud de capteur : capture, traitement et l'envoi des données, il faut bien conserver l'énergie des nœuds capteurs. Parmi ces trois tâches, l'envoi des données ou la communication est la tâche qui consomme la plus grande partie de l'énergie. Ceci a motivé des travaux de recherche à se focaliser sur la couche MAC (Medium Access Control) et réseau. Dans notre travail, nous nous intéressons à la couche réseau. Les protocoles de routage doivent être utilisés efficacement pour prendre en considération la contrainte d'énergie dans les réseaux de capteurs. En fait, la tâche des protocoles de routage dans ces réseaux est de permettre aux nœuds capteurs de router les données collectées efficacement vers la station de base (SB) mais surtout en minimisant la consommation d'énergie et en évitant les principales causes de consommation d'énergie.

En effet, il est très important d'étudier et de simuler le comportement de ses protocoles et d'évaluer leurs performances, afin de comprendre et d'améliorer les éventuels problèmes qui pourraient affecter sur ces réseaux. En effet, il existe trois approches d'évaluation ses performances : les modèles analytiques, les simulations et les mesures sur un système réel.

Notre travail entre dans le cadre du projet de fin d'études, l'objectif de ce travail est de simuler le comportement des nœuds de capteurs d'un RCSF par la simulation du protocole de routage LEACH, afin de router les informations capturées vers le sink (la station de base).

L'organisation de ce mémoire découle naturellement de cette problématique traitée. En plus d'une introduction et d'une conclusion, ce mémoire est structuré en quatre chapitres qui permettent un cadrage progressif du sujet.

- Dans le premier chapitre intitulé « Les Réseaux de capteurs sans fil », nous décrivons les réseaux de capteurs sans fil, leurs architectures, leurs caractéristiques, leurs domaines d'application, ainsi que les types de communication utilisés.
- Dans le deuxième chapitre, nous présentons les différents protocoles de routage et quelques méthodes de clustering qui est une méthode utilisée pour organiser les nœuds du réseau en clusters.
- Dans le troisième chapitre, est consacré à la présentation du protocole de routage LEACH.
- Dans le dernier chapitre, nous détaillerons la simulation que nous avons conçue dans MATLAB.

Chapitre I

Les Réseaux de capteurs

I.1 Introduction

La technologie des réseaux de capteurs sans fil est un domaine en plein essor, de plus en plus d'applications utilisent cette technologie. En effet, les avancées électroniques et informatiques d'aujourd'hui sont capables de développer de minuscules capteurs capables de capter des données, calculer des informations à l'aide de ces données collectés et de communiquer à travers un réseau.

Dans ce chapitre, nous décrivons les réseaux de capteurs sans fil, leurs architectures, leurs caractéristiques, leurs domaines d'application, ainsi que les types de communication utilisés.

I.2 Notion de capteur

I.2.1 Définition :

Un capteur est un petit dispositif électronique qui transforme l'état d'une grandeur physique observée en une grandeur utilisable, capable de mesurer une valeur physique environnementale (température, lumière, pression, humidité, vibration, etc.), Chaque capteur assure les trois principales fonctions de base qui sont : l'acquisition de données, les traitements sur ces données et leurs communications aux stations de bases [1].

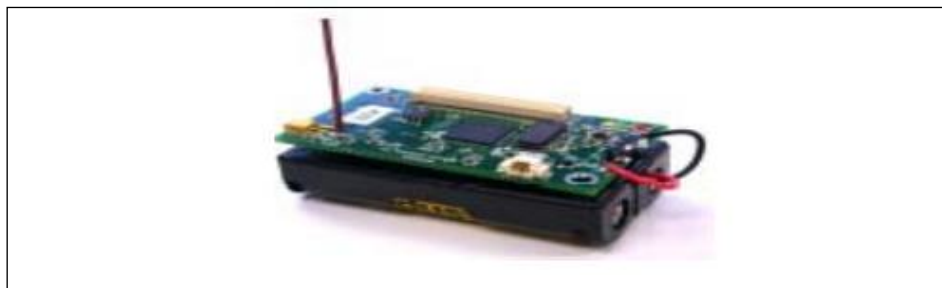


Figure 1.1: Nœud capteur sans fil [39].

I.2.2 Capteur intelligent :

Les dernières années du XX^e siècle ont vu apparaître le concept de capteurs intelligents, le capteur intelligent est un système composé de plusieurs sous-système dont les fonctions sont clairement distinct dont les principaux sont (*Selon le livre "Capteurs intelligents et méthodologie d'évaluation"*) :

- Un ou plusieurs transducteur(s) ;
- Des conditionneurs spécifiques ;
- D'une mémoire ;

- D'une alimentation;
- D'un organe intelligent interne permettant un traitement local et l'élaboration d'un signal numérique ;
- D'une interface de communication.

Le capteur intelligent est un dispositif communicant : cette notion de communication constitue probablement l'élément clé du concept de capteur intelligent. Reste que pour qu'un capteur puisse communiquer, il est nécessaire de définir un protocole de communication. Ce dernier réside dans une puce implantée dans chaque capteur et permet aux différents organes d'être compris par toutes les entités du système de communication [2].



Figure 1.2 : capteur intelligent [40].

I.2.3 Architecture d'un capteur :

Concernant l'architecture des capteurs on peut la scinder en deux parties, ces deux parties à s'avoir l'architecture matérielle et l'architecture logicielle sont complémentaires car elles composent le capteur dans son intégralité, à cet effet nous développerons les deux architectures.

I.2.3.1 Architecture matérielle :

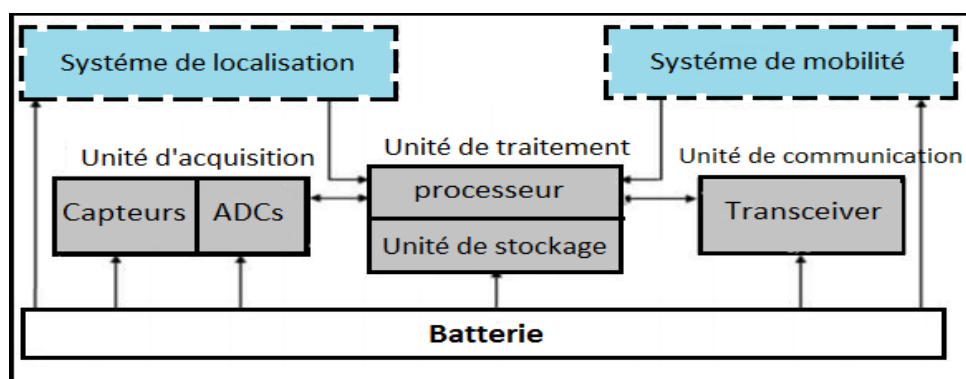


Figure 1.3: Architecture matérielle d'un capteur sans fil [3].

- Un capteur se compose de quatre unités de base indiquée dans la figure 1.3 [3] :

1. L'unité d'acquisition :

Appelée aussi unité de captage elle est généralement composée de deux sous-unités : le capteur lui-même et un convertisseur Analogique/Numérique (ADCs). Les capteurs permettent une mesure sur des paramètres environnementaux pour fournir des signaux analogiques obtenus après conversion de ces données récoltées. Les ADCs vont convertir ces signaux analogiques en signaux numériques par l'unité de traitement.

2. L'unité de traitement :

Se compose, de deux interfaces une avec l'unité de captage et l'autre avec l'unité de communication, Elle comprend un processeur et une mémoire. Ses fonctions principales sont l'exécution de protocoles de communication qui permettent de faire collaborer le capteur avec d'autres capteurs et peut aussi analyser les données captées.

3. L'unité de communication :

Cette unité permet d'effectuer toutes les communications entre les différents nœuds sur un médium sans fil, car elle est dotée d'un émetteur-récepteur.

4. Unité de puissance (Batterie):

Elle alimente les unités que nous avons citées en dessus. Généralement, elle n'est ni rechargeable ni remplaçable. La capacité d'énergie limitée au niveau des capteurs représente la contrainte principale lors de conceptions de protocoles pour les réseaux de capteurs.

I.2.3.2 Architecture logicielle :

La contrainte énergétique des capteurs exige l'utilisation de systèmes d'exploitation légers tels que TinyOS [4] ou Contiki [5]. Cependant, TinyOS reste toujours le plus utilisé et le plus populaire dans le domaine des RCSF. Il est libre et est utilisé par une large communauté de scientifiques dans des Simulations pour le développement et le test des algorithmes et protocoles réseau.

I.2.4. Zone de couverture :

Les capteurs fonctionnent avec un modèle à seuil, c'est à dire qu'un capteur possède deux zones : une zone de perception (SR) et une zone de communication (CR). Pour schématiser, on considère que ces zones sont représentées par deux cercles qui ont pour centre le capteur comme la montre le figure ci-après :

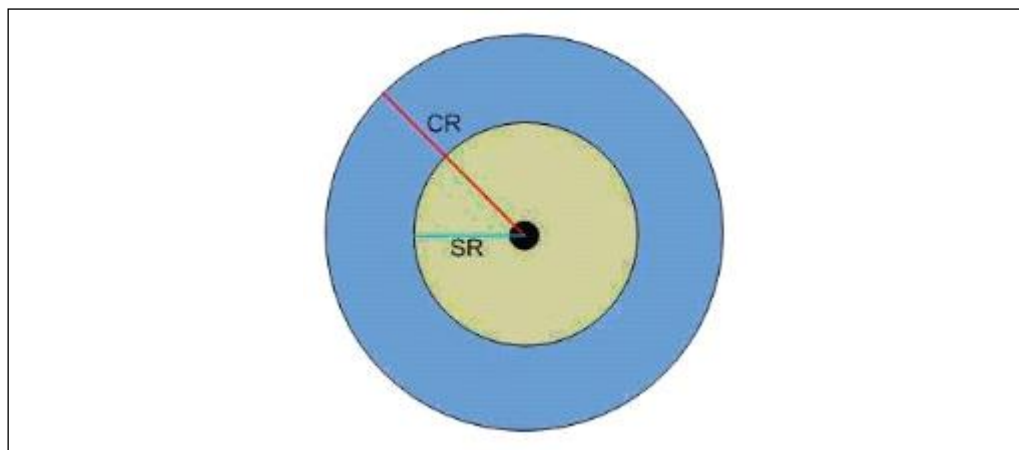


Figure 1.4 : zone de couverture d'un capteur [41].

En influant sur le rapport entre le rayon du SR et le rayon du CR, on va modifier les contraintes. Ainsi, on va pouvoir minimiser le nombre de noeuds actifs et maximiser la durée de vie du réseau [41].

Les zones CR et SR représentent la zone de couverture d'un capteur. Pour qu'une zone soit complètement couverte, il faut que la densité de capteurs soit suffisante. Comme les capteurs sont généralement disposés sur la zone à couvrir de façon aléatoire, il est nécessaire de disposer d'une densité importante de capteurs. Si la densité de capteurs est trop importante et que la zone que l'on veut surveiller est "trop" couverte, alors des capteurs vont fonctionner inutilement [6].

I.3 Réseaux de capteurs sans fil (RCSFs) :

I.3.1 Présentation d'un RCSF :

Le réseau de capteur sans fil (RCSF) ou Wireless Sensor Network (WSN) est une nouvelle technologie qui a surgi après les grands progrès technologique concernant le développement des capteurs intelligents, des processeurs puissants et des protocoles de communication.

Ce type de réseau, utilise des capteurs coopérant pour surveiller des conditions environnementales ou physiques, comme la température, le son, les vibrations, la pression, le mouvement, etc. Pour les applications environnementales, les données recensées permettent une intervention beaucoup plus rapide et efficace des secours. Mais dans quelle partie de la zone surveillée cette information a été recensée. Supposons qu'un réseau de capteurs est déployé pour surveiller une forêt (détecter le feu en mesurant la température de

l'air), des résultats utiles de ce réseau seraient non seulement le signal que la température de l'air est très élevée, mais également dans quelle partie de la forêt surveillée le feu a commencé, pour permettre de combattre le feu plus efficacement. Puisque les réseaux de capteurs sans fil peuvent être déployés dans des terrains inaccessibles, la position des nœuds capteurs ne peut être prédéterminée. En conséquence, un système de localisation est requis afin de fournir des informations de position aux nœuds. Parfois, la localisation de nœuds capteurs est indispensable dans l'observation d'événements, ou la poursuite d'objets. Parmi les domaines d'application on trouve le domaine de la santé, le domaine militaire, et le domaine de la sécurité. Par exemple, les données physiologiques d'un patient peuvent être contrôlées à distance par un médecin, Bien que cela soit plus avantageux pour le patient, il permet également au médecin de mieux comprendre l'état actuel du patient. Les réseaux de capteurs peuvent également être utilisés pour détecter des agents chimiques étrangers dans l'air et l'eau. Ils peuvent aider à identifier le type, la concentration et l'emplacement des polluants. Nous pouvons dire qu'à l'avenir, les réseaux de capteurs sans fil seront une partie intégrante de notre vie [7].

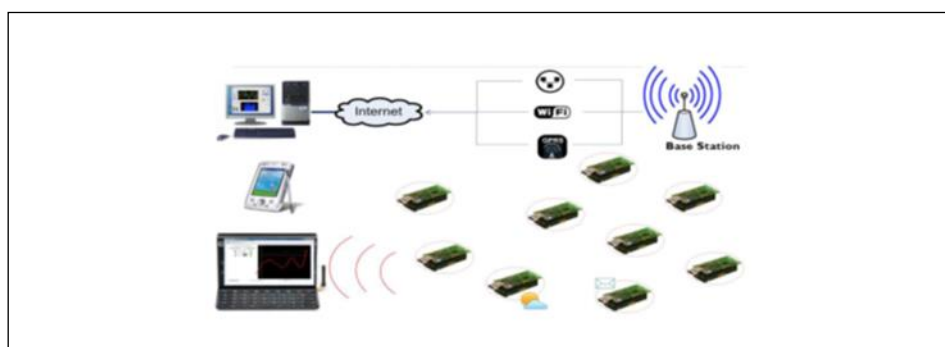


Figure 1.5 : Réseau de Capteurs Sans Fil (RCSF). [1].

I.3.2 La pile protocolaire :

Le rôle de ce modèle consiste à standardiser la communication entre les composants du réseau afin que différents constructeurs puissent mettre au point des produits (logiciels ou matériels) compatibles. Ce modèle comprend 5 couches qui ont les mêmes fonctions que celles du modèle OSI ainsi que 3 couches pour la gestion de la puissance d'énergie, la gestion de la mobilité ainsi que la gestion des tâches (interrogation du réseau de capteurs). Le but d'un système en couches est de séparer le problème en différentes parties (les couches) selon leur niveau d'abstraction. Chaque couche du modèle communique avec une

couche adjacente (celle du dessus ou celle du dessous). Chaque couche utilise ainsi les services des couches inférieures et en fournit à celle de niveau supérieur [43].

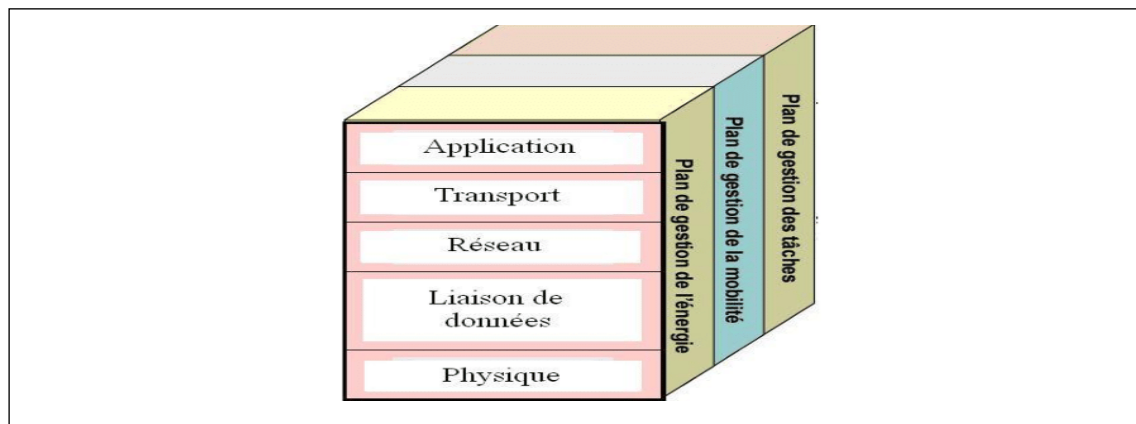


Figure1.6 La pile protocolaire des RCSF [42].

1.3.2.1 Les rôles des couches [43]:

1. La couche physique :

Spécifications des caractéristiques matérielles, des fréquences porteuses, etc.

2. La couche liaison de donnée :

Spécifie comment les données sont expédiées entre deux noeuds/routeurs dans une distance d'un saut. Elle est responsable du multiplexage des données, du contrôle d'erreurs, de l'accès au media,... Elle assure la liaison point à point et multi-point dans un réseau de communication.

3. La couche réseau :

Dans la couche réseau le but principal est de trouver une route et une transmission fiable des données, captées, des nœuds capteurs vers le puits "sink" en optimisant l'utilisation de l'énergie des capteurs. Ce routage diffère de celui des réseaux de transmission ad hoc sans fils par les caractéristiques suivantes:

- Il n'est pas possible d'établir un système d'adressage global pour le grand nombre de nœuds.
- Les applications des réseaux de capteurs exigent l'écoulement des données mesurées de sources multiples à un puits particulier.
- Les multiples capteurs peuvent produire de mêmes données à proximité d'un phénomène (redondance).

- Les nœuds capteur exigent ainsi une gestion soignée des ressources. En raison de ces différences, plusieurs nouveaux algorithmes ont été proposés pour le problème de routage dans les réseaux de capteurs.

4. La couche transport :

Cette couche est chargée du transport des données, de leur découpage en paquets, du contrôle de flux, de la conservation de l'ordre des paquets et de la gestion des éventuelles erreurs de transmission.

5. La couche application :

Cette couche assure l'interface avec les applications. Il s'agit donc du niveau le plus proche des utilisateurs, géré directement par les logiciels.

I.3.2.2 Les différents plans de gestion :

Les plans de gestion d'énergie, de mobilité et de tâche contrôlent l'énergie, le mouvement et la distribution de tâche au sein d'un nœud de capteur. Ces plans aident les nœuds capteurs à coordonner la tâche de captage et minimiser la consommation d'énergie. Ils sont donc nécessaires pour que les nœuds capteurs puissent collaborer ensemble, acheminer les données dans un réseau mobile et partager les ressources entre eux en utilisant efficacement l'énergie disponible. Ainsi, le réseau peut prolonger sa durée de vie [12].

1. plan de gestion de l'énergie :

Contrôle l'utilisation de la batterie. Par exemple, après la réception d'un message, le capteur éteint son récepteur afin d'éviter la duplication des messages déjà reçus. En outre, si le niveau d'énergie devient bas, le nœud diffuse à ses voisins une alerte les informant qu'il ne peut pas participer au routage. L'énergie restante est réservée au captage [12].

2. plans de gestion de la mobilité :

Détecte et enregistre le mouvement du nœud capteur. Ainsi, un retour arrière vers l'utilisateur est toujours maintenu et le nœud peut garder trace de ses nœuds voisins. En déterminant leurs voisins, les nœuds capteurs peuvent balancer l'utilisation de leur énergie et la réalisation de tâche [12].

3. plans de gestion des tâches :

Balancer et ordonner les différentes tâches de captage de données dans une région spécifique. Il n'est pas nécessaire que tous les nœuds de cette région effectuent la tâche de

captage au même temps ; certains nœuds exécutent cette tâche plus que d'autres selon leur niveau de batterie [12].

I.3.3 Caractéristiques des RCSFs :

Par ailleurs les caractéristiques essentielles des RCSF s'établissent comme suit [8] :

- **La capacité de calcul :**

En raison du faible coût de fabrication, de la limitation de l'énergie de la batterie et la petite taille des nœuds capteurs, l'espace du programme et l'espace mémoire du capteur sont très limités ce qui affecte directement la capacité de calcul.

- **La capacité énergétique :**

Les nœuds capteurs deviennent inutilisables à cause de l'épuisement de l'énergie. Par conséquent, les protocoles et les algorithmes doivent prendre en considération la conservation de l'énergie de la batterie à l'avance. En outre, la consommation d'énergie des nœuds dans la transmission des données est supérieure à l'énergie consommée pour les calculs. L'énergie consommée pour transmettre un bit de données peut-être utilisée pour exécuter 3000 lignes d'instructions.

- **La capacité de communication :**

La bande passante dans les réseaux de capteurs sans fil est limitée et changeante, ce qui influe sur le débit. La distance de communication est seulement de quelques dizaines à plusieurs centaines de mètres. De ce fait, il est difficile de maintenir le bon fonctionnement du RCSF à cause de l'impact de l'environnement comme : les obstacles, les tempêtes, la pluie et l'éclairage. Par conséquent, le logiciel et le matériel doivent être robustes face à ces difficultés.

- **L'auto-organisation :**

Le déploiement des nœuds capteurs sans fil n'a pas besoin d'infrastructure réseau préinstallée. Les nœuds capteurs, lesquels ils peuvent s'ajuster en collaboration pour exécuter et distribuer les algorithmes, peuvent rapidement et automatiquement former un réseau après leurs activations.

- **La communication multi-saut :**

Les RCSF adoptent des communications multi saut en raison des limitations des ressources physiques dues à la miniaturisation des composants électroniques.

- **La pertinence avec l'application :**

Le RCSF est centralisé par la collecte de données, la communication multi-sauts et un modèle de trafic plusieurs-a-un. Les RCSFs sont différents des réseaux traditionnels

et ils sont fortement dépendants des applications ; leur travail ultime est l'acquisition des données d'environnement.

I.3.4 Classification des applications des RCSF :

Les réseaux de capteurs sans fil ont été classés parmi les 21 technologies les plus importantes du 21^{ème} siècle. Les applications des RCSFs peuvent être classifiées en quatre classes distinctes : orientées temps (time-driven), orientées événements (event-driven), orientées requêtes (query-driven) et hybrides (hybrid) [9].

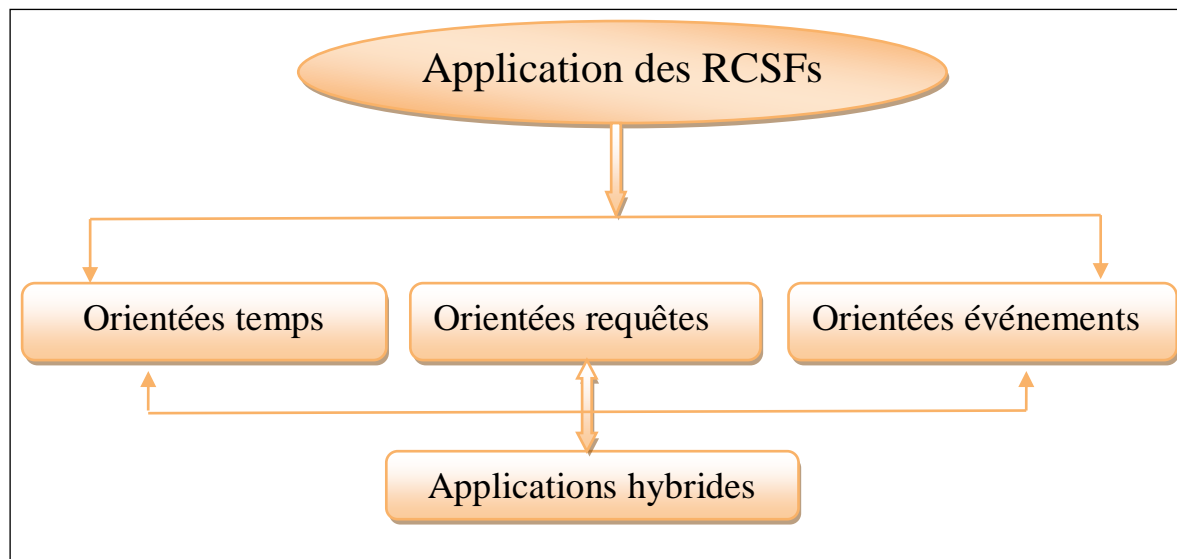


Figure 1.7: Classification des applications des RCSFs [10].

I.3.4.1 Applications orientées temps :

Dans cette classe d'application, l'acquisition et la transmission des données capturées sont liées au temps : instant précis ou période d'acquisition. Ainsi, la transmission de données dépend de la périodicité des mesures à effectuer sur l'environnement local. La collecte de données environnementales peut représenter un bon exemple de cette classe d'application dans des domaines variés : agriculture, expérimentation scientifique, etc [10].



Figure 1.8: Utilisation des RCSFs dans l'agriculture [10].

I.3.4.2 Applications orientées événements :

Dans cette classe, les capteurs envoient leurs données seulement si un événement spécifique se produit. On peut citer l'exemple de surveillance des feux dans les forêts. Au départ, cette classe d'application était conçue à des fins militaires, comme la surveillance du déplacement des objets sur un champ de bataille. Par la suite, cette classe a rapidement trouvé de nouvelles perspectives dans les domaines : industriels, médical, sécuritaire, etc. [9].



Figure 1.9: Un service militaire utilisant les RCSFs[10].

I.3.4.3 Applications orientées requêtes :

Dans cette classe, un capteur n'envoie sa donnée que lorsqu'une demande explicite de la station de base lui est parvenue. Ainsi, l'utilisateur peut interroger les capteurs pour acquérir des mesures d'intérêts. Cependant, des connaissances sur la topologie du réseau et l'emplacement des capteurs peuvent s'avérer nécessaires pour l'interrogation d'un capteur bien déterminé [10].

I.3.4.4 Applications hybrides :

Ce type d'application met en œuvre les trois modes de fonctionnement décrits précédemment. par exemple, dans un réseau conçu pour le suivi d'objets, le réseau peut combiner entre un réseau de surveillance (time-driven) et un réseau de collecte de données par événements (event driven). Ainsi, en plus d'un rapport périodique, lors de la détection d'un déplacement d'objet un message sera immédiatement transmis à la station de base [10].

I.3.5 Domaines d'applications des RCSFs :

La Miniaturisation des micro-capteurs, un coût de plus en plus faible, la large gamme des types de capteurs disponibles (thermique, optique, vibration, etc.), ainsi que le support de communication sans fil utilisée, grâce à ces développements le champ d'application des

réseaux de capteurs est de plus en plus élargi, permettent l'application des réseaux de capteurs dans plusieurs domaines parmi lesquels [11]:

- **Applications militaires :**

Un réseau de capteurs déployé dans un secteur stratégique ou difficile d'accès, permet par exemple de surveiller tous les mouvements (alliés ou ennemis), ou d'analyser le champ de bataille avant d'envoyer du renfort, pour que transport sécurisé est l'aspect principal de toute opération militaire réussie.

- **Applications médicales :**

La surveillance des fonctions vitales de l'être humain serait possible grâce à des micro-capteurs qui pourront être avalés ou implantés sous la peau. Actuellement, des micro-caméras qui peuvent être avalées existent. Elles sont capables, sans avoir recours à la chirurgie, de transmettre des images de l'intérieur d'un corps humain avec une autonomie de 24 heures.

- **Applications environnementales :**

Les capteurs de températures peuvent être dispersés depuis les avions afin de collecter des informations sur l'état de l'environnement et dans le but de détecter d'éventuels problèmes environnementaux dans le domaine couvert par les capteurs dans une optique d'intervenir à temps afin d'empêcher que d'éventuels incendie, inondation, volcan ou tsunami ne se produisent.

- **Applications commerciales :**

Il est possible d'intégrer des nœuds capteurs au processus de stockage et de livraison. Le réseau ainsi formé, pourra être utilisé pour connaître la position, l'état et la direction d'un paquet ou d'une cargaison. Il devient alors possible pour un client qui attend la réception d'un paquet, d'avoir un avis de livraison en temps réel et de connaître la position actuelle du paquet.

- **Applications agricoles :**

Dans le domaine de l'agriculture, les capteurs peuvent être utilisés pour réagir convenablement aux changements climatiques par exemple le processus d'irrigation lors de la d'érection de zones sèches dans un champ agricole.

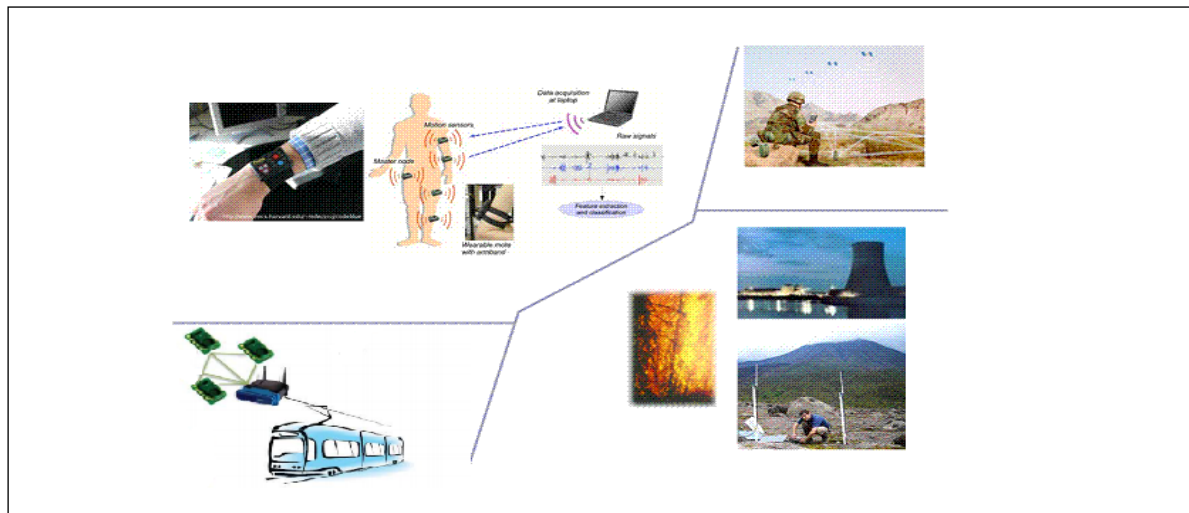


Figure 1.10: Quelques domaines d'applications des RCSFs [11].

I.3.6 Architecture des RCSFs :

Il existe deux types d'architectures pour les réseaux de capteurs : les réseaux de capteurs plats et les réseaux de capteurs hiérarchiques.

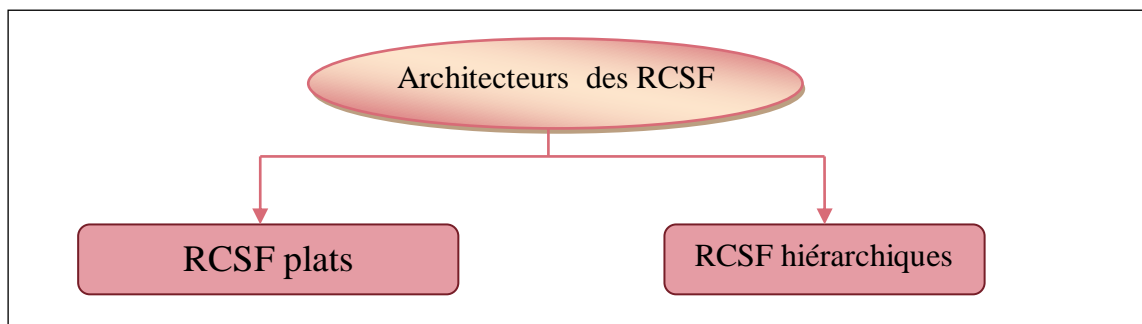


Figure 1.11 : Les types d'architecture des RCSFs [12].

I.3.6.1 RCSFs plats :

Le réseau de capteurs sans fil plat est un réseau homogène, ou tous les nœuds sont identiques en termes de batterie et de complexité du matériel, excepté le Sink qui joue le rôle d'une passerelle et qui est responsable de la transmission de l'information collectée à l'utilisateur final. Selon le service et le type de capteurs, une densité de capteurs élevée (plusieurs nœuds capteurs/m²) ainsi qu'une communication multi-saut peut être nécessaire pour l'architecture plate. En présence d'un très grand nombre de nœuds capteurs, la scalabilité devient critique. Le routage et le contrôle d'accès au médium (MAC) doivent gérer et organiser les nœuds d'une manière très efficace en termes d'énergie [12].

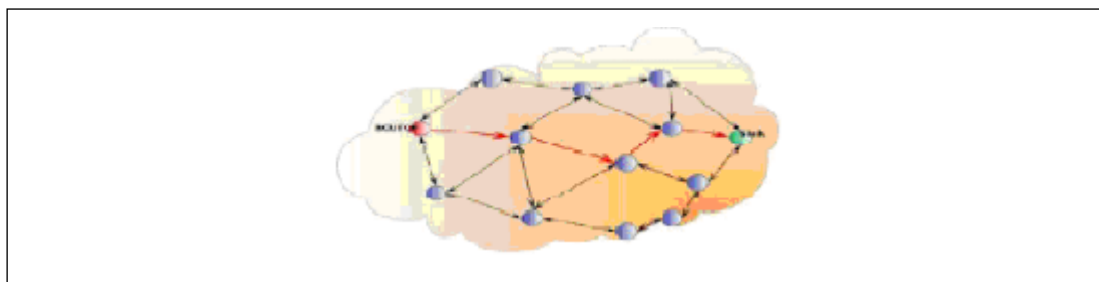


Figure 1.12 : Architecture plate [12].

I.3.6.2 RCSF hiérarchique :

Une architecture hiérarchique était proposée pour réduire le coût et la complexité de la plus part des nœuds capteurs en introduisant un ensemble de nœuds capteurs plus coûteux et plus puissant, ceci en créant une infrastructure qui décharge la majorité des nœuds simples a faible coût de plusieurs fonctions du réseau. L'architecture hiérarchique est composée de multiples couches : une couche de capteurs, une couche de transmission et une couche de point d'accès. [12].

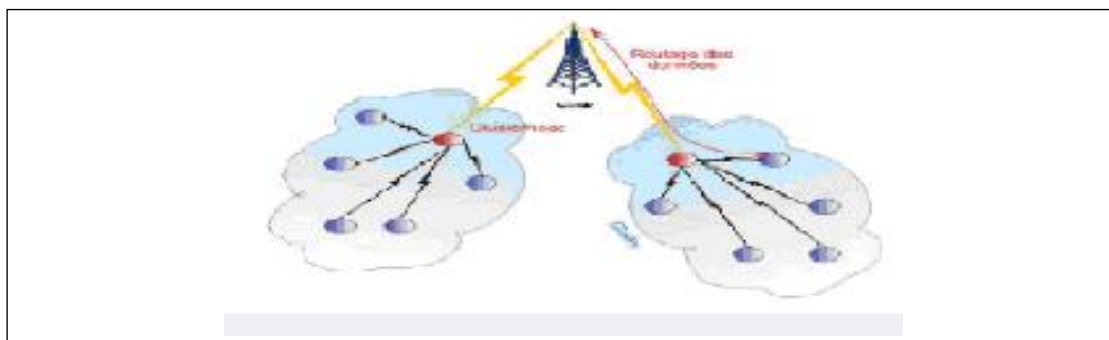


Figure 1.13 : Architecture hiérarchique [12].

I.3.7 Défis des RCSFs :

On peut classifier les travaux de recherche dans le domaine des réseaux de capteurs comme Suit [13] :

- **Conception des capteurs :**

Trouver de nouvelles conceptions adéquates et spécifiques pour des environnements donnés (détecteur de chute, vêtement intelligents, capteurs multimédias, ...).

- **La densité (passage à l'échelle) :**

Afin de garantir le bon fonctionnement du réseau, les nouveaux schémas de déploiement doivent être capables de travailler avec un grand nombre de nœuds. Par ailleurs, ils doivent utiliser la propriété de haute densité dans les réseaux de capteurs, et donc pouvoir déployer un grand nombre de nœuds dans une petite surface surtout avec l'avènement de l'internet des objets où le nombre de capteurs pourra atteindre plus de 10 *capteurs/m2*.

- **Protocoles de communication :**

Trouver de nouvelles paradigmes et protocoles de communication qui prennent en compte l'évitement de collisions, les vides, les flux multimédias, le routage des données.

- **Sécurité :**

Dans les applications sensibles la sécurisation des données est nécessaire. D'où, il faudrait tenir compte des ressources limitées des capteurs pour proposer des solutions légères en termes de calcul et de stockage.

I.4 Conclusion

Nous avons essayé à travers ce chapitre de présenter les RCSF : généralités et leurs spécificités, leurs architectures et leurs applications et les concepts nécessaires à la compréhension des réseaux de capteurs.

Dans le chapitre suivant, nous décrirons les protocoles de routage pour les réseaux de capteurs sans fil, nous définissons le clustering et ses méthodes ainsi que les outils matériels et logiciels qui permettent la mise en place de certains protocoles pour les RCSFs.

Chapitre II

Les Protocoles de Routage pour les RCSFs

II.1 Introduction

Les protocoles de routage permettent d'établir des routes entre les nœuds pour acheminer les paquets entre eux. Cependant, dans les réseaux de capteurs, les protocoles de routage établissent des routes entre tout nœud du réseau et la station de base pour assurer la fidélité de routage. Dans cette optique, plusieurs protocoles ont été proposés dans la littérature. Il y en a de nouveaux protocoles qui ont été développés comme il y en a des protocoles qui sont des améliorations des autres et essaient de combler les limitations des versions originales.

Dans ce chapitre nous allons présenter les différents protocoles de routage et quelques méthodes de clustering qui est une méthode utilisée pour organiser les nœuds du réseau en clusters. Nous notons que l'approche de clustering permet le passage à l'échelle et d'améliorer la durée de vie des réseaux.

II.2 Protocoles de routage

II.2.1 Définition du routage :

Le routage est un processus qui permet de sélectionner le meilleur chemin dans un réseau pour transmettre des données depuis un expéditeur jusqu'à un ou plusieurs destinataires. On distingue généralement deux entités : L'algorithme de routage et le protocole de routage. Dans les réseaux de capteurs, les caractéristiques comme la densité importante des nœuds, leurs autonomies énergétiques limitées et la topologie qu'ils forment exigent des protocoles de routage spécifiques. De ce fait, le développement de nouveaux protocoles de routage s'avère indispensable. Ces protocoles doivent tenir compte de l'aspect fonctionnel de ces réseaux tout en optimisant les calculs nécessaires pour choisir le meilleur chemin [14].

II.2.2 Les différents types de routage :

Les protocoles de routage dans les réseaux de capteurs sans fil sont divisés en quatre groupes : les protocoles de routage à plat, hiérarchiques, non hiérarchiques, et géographiques [17].

II.2.2.1 Le routage à plat :

Le routage à plat et données centrales, est le modèle le plus simple où chaque nœud dans le réseau transmet les données à la station de base. Dans lesquels les noeuds jouent le même rôle et ont la même tâche [17].

La station de base envoie des requêtes à certaines régions et se met en attente des données des capteurs situés dans les régions choisies. Nous citons quelques protocoles de routage qui sont fondés sur cette architecture [15] :

- **DSDV (Destination Sequenced Distance Vector) :**

DSDV est un protocole proactif de routage basé sur l’approche du vecteur à distance et dans lequel les noeuds sont déployés aléatoirement. Dans DSDV, chaque noeud possède une table de routage contenant le saut suivant et le nombre de sauts vers une destination bien précise. La table de routage est actualisée périodiquement à tout moment. En outre, pour éviter les bouclages DSDV attribue un numéro de séquence pour chaque route. Ainsi la route qui dispose d’un numéro de séquence plus grand, sera favorisée.

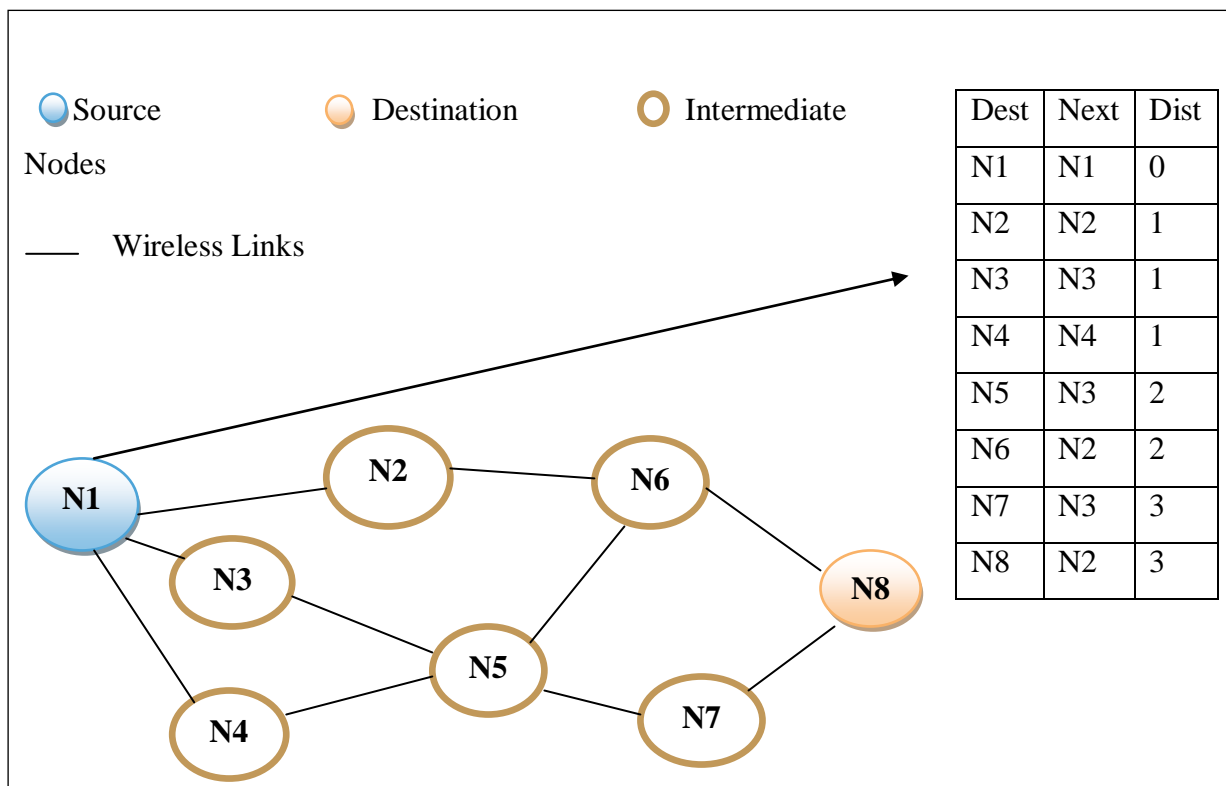


Figure 2.1 : Destination Sequenced Distance Vector [44].

• **DSR (Dynamic Source Routing) :**

DSR est un protocole de routage réactif qui utilise la technique de routage source. Cette technique permet à la source de déterminer le chemin ou bien la séquence complète des noeuds parcourus pour atteindre une destination [16].

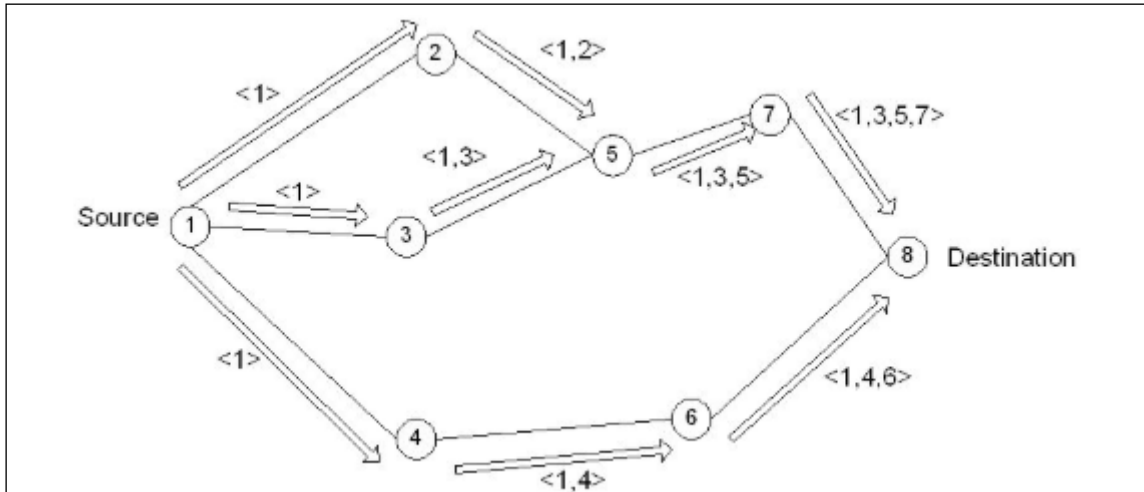


Figure 2.2 : Dynamic Source Routing [16].

• **OLSR (Optimized Link State Routing):**

OLSR est un protocole proactif basé sur MPR (Multi-Point Relais).MPR consiste essentiellement, pour un noeud donné de ne pas prendre en considération tous les liens vers les voisins mais seulement une partie dans laquelle ces noeuds peuvent atteindre tous les voisins des voisins i.e. les voisins à deux sauts du noeud source (2-voisins). Cette technique permet aux noeuds de calculer les plus courts chemins. Après qu'un noeud choisit un ensemble de noeuds relais, il annonce aux réseaux qu'il est capable d'atteindre les noeuds élus dans l'ensemble de leur MPR [15].

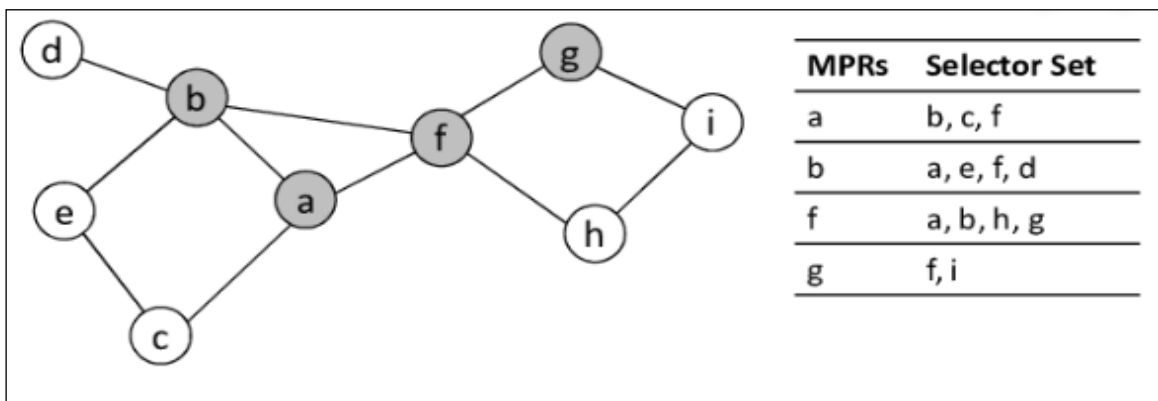


Figure 2.3: Optimized Link State Routing [45].

II.2.2.2 Le routage basé sur la localisation :

Dans ce type de routage, les nœuds capteurs sont traités en fonction de leurs localisations. Ces informations de localisation permettent le calcul des positions des capteurs et les distance qui les séparent afin construire les chemins les plus courts entre un nœud source et sa destination, de sorte que la consommation d'énergie puisse être estimée . De plus, la localisation des nœuds peut être disponible directement en communiquant avec un satellite en utilisant GPS (système de positionnement global) ou par le biais d'un nœud mobile diffusant à plusieurs endroits sa localisation qui pourra être captée par les nœuds capteurs se trouvant dans rayon de transmission [17].

II.2.2.3 Le routage hiérarchique :

Dans les RCSF, la majorité des protocoles de routage sont des protocoles hiérarchiques. Ces protocoles sont est considéré comme étant l'approche la plus favorable en termes d'efficacité énergétique surtout dans les réseaux de capteurs à grande échelle.

Le routage hiérarchique permet de partitionner le réseau en sous ensemble pour faciliter la gestion du réseau ce qui permet une meilleure conservation de l'énergie, Le partitionnement du réseau permet d'organiser le réseau de telle sorte chaque sous ensemble de nœuds a un super nœud appelé cluster-head. Ce dernier gère cet ensemble de nœuds et communique avec d'autres cluster-heads [15].

Nous présentons des exemples de protocoles de routage hiérarchiques :

- **HEED (Hybrid, Energy-Efficient, Distributed approach) :**

HEED est un protocole de routage conçu pour les RCSF, est l'un des protocoles qui permettent d'augmenter la durée de vie dans les RCSFs. Il est basé sur un algorithme de clustering distribué. HEED ne dépend pas de la topologie du réseau ni de sa taille mais il suppose que les capteurs sont intelligents i.e. ont la possibilité de modifier leur puissance de transmission. HEED construit les cluster-heads selon un critère hybride regroupant le degré des nœuds et leurs énergies restantes. Il vise à réaliser une distribution uniforme des clusters dans le réseau et à générer des clusters équilibrés en taille.

Dans HEED, les cluster-heads communiquent directement avec la station de base ce qui permet de minimiser la consommation d'énergie. Cependant, dans HEED, la topologie

en clusters ne réalise pas la consommation minimale d'énergie dans les communication intra-cluster et les clusters générés ne sont pas tellement équilibrés en taille [16].

- **LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy):**

LEACH est basé sur un algorithme de clustering distribué. C'est un protocole conçu pour le routage dans les réseaux de capteurs homogènes où les capteurs ont les mêmes caractéristiques et les mêmes capacités.

Dans LEACH, les données des nœuds individuels doivent être envoyées à une station de base, ce qui permet de minimiser la consommation et réduire la quantité d'informations envoyées à la station de base, Les études sur ce protocole montrent que LEACH est un protocole économe en énergie qui prolonge la durée de vie des RCSFs [11].

Il existe de nombreux simulateurs de réseau à la fois ouverts et commerciaux pour implémenter LEACH, tels que :

1. NS-2 et NS-3 (open source);
2. OPNET (proprietary software);
3. NetSim (proprietary software);
4. OMNeT++ (IDE);
5. TinyOS (open source);
6. MATLAB.

- **PEGASIS (Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems) :**

PEGASIS est une version améliorée du protocole LEACH, et est un protocole hiérarchique, les nœuds sont organisés sous la forme d'une chaîne pour le transport et l'agrégation des données.

Les données collectées sont transmises d'un nœud à un autre jusqu'à l'arrivée à un nœud particulier qui va à son tour les transmettre vers la station de base. Les nœuds particuliers sont choisis à tour de rôle selon la politique Round-robin pour le but d'économie l'énergie. Contrairement au protocole LEACH, PEAGASIS ne fixe pas le rôle à un seul nœud mais ils affectent d'autres rôles en fonction de leurs énergies restantes. En plus, PEGASIS suppose que les nœuds peuvent modifier leur puissance de transmission [15].

II.3 Quelques travaux préalables :

Il existe plusieurs protocoles qui ont pour but de maximiser la durée de vie d'un réseau de capteurs, dans cette section nous nous sommes intéressés sur les protocoles de routage hiérarchique LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy).

- Les auteurs ont proposé un schéma de routage hybride qui combine entre l'approche KMeans et le protocole LEACH. K-Means est utilisée pour regrouper les nœuds capteurs en clusters et LEACH est utilisé pour sélectionner les cluster-heads. Les résultats de simulation ont montré que ce protocole surpasse LEACH en termes de la consommation d'énergie et de la durée de vie du réseau mais la principale faiblesse de ce protocole est la grande énergie consommée durant le processus d'élection des cluster-heads [27].

II.4 Clustering et partitionnement de données :

II.4.1 Définition :

Le clustering est un processus qui regroupe un ensemble d'objets (physiques ou abstraits) en clusters similaires de telle sorte que les données du même cluster aient des caractéristiques similaires, et celles appartenant à des clusters distincts soient dissimilaires.

Le clustering est une des méthodes d'analyse des données. Elle vise à diviser un ensemble de données en différents « paquets » homogènes, en ce sens que les données de chaque sous-ensemble partagent des caractéristiques communes, qui correspondent le plus souvent à des critères de proximité (similarité informatique) que l'on définit en introduisant des mesures et classes de distance entre objets [19].

II.4.2 Méthodes de clustering :

Les méthodes de clustering sont généralement classées en quatre catégories majeures [20] :

- Les méthodes hiérarchiques ;
- Les méthodes de partitionnement ;
- Les méthodes basées sur la densité ;
- Les méthodes basées sur la grille.

II.4.2.1 Les méthodes hiérarchiques :

Dans un clustering hiérarchique, un cluster peut être divisé en sous clusters. L'ensemble des clusters étant généralement représenté par un arbre. Un objet appartient à une et une seule feuille dans la hiérarchie, mais également à son noeud père, et ainsi de suite jusqu'à la racine. Les méthodes de clustering hiérarchique permettent d'obtenir ce type de résultats.

Il existe deux types d'approches de clustering hiérarchique :

- Les approches par agglomération (ou ascendantes).
- Les approches par division (ou descendantes).

II.4.2.2 Les méthodes de partitionnement :

Les méthodes de partitionnement ont généralement comme résultat un ensemble de M clusters, chaque objet appartenant à un seul cluster. Chaque cluster peut être représenté par un centroid (représentant du cluster) qui peut être considéré comme une description récapitulative de tous les objets contenus dans le cluster. La forme précise de cette description dépendra du type des objets qui sont groupés.

Si le nombre de clusters est élevé, les centroids peuvent encore être groupés de manière hiérarchique.

II.4.2.3 Les méthodes basées sur la densité :

Les algorithmes basés sur la densité sont capables de découvrir des clusters de formes arbitraires, ce qui assure l'isolement des bruits et la prévention contre la formation de clusters non pertinents. Ces algorithmes groupent des objets selon des fonctions de densité spécifiques. La densité est habituellement définie comme nombre d'objets dans un voisinage particulier des éléments de données. Dans cette approche, un cluster donné continue à augmenter de taille tant que le nombre d'objets dans le voisinage dépasse un certain seuil, Cette approche se subdivise en deux types :

- **Méthodes basée sur la densité connective :**

Dans cette technique de clustering, la densité et la connectivité sont mesurées en termes de distribution locale des voisins les plus proches [21].

- **Méthodes basée sur les fonctions densité :**

Dans cette méthode, une fonction de densité est utilisée pour le calcul de la densité. La densité globale est définie comme la somme des fonctions de densité de tous les objets.

II.4.2.4 Les méthodes basées sur la grille :

Un algorithme de clustering basé sur les grilles utilise des structures de données multi-résolution, où l'espace d'objets est quantifié en un ensemble de cellules, puis identifie l'ensemble de cellules denses connectées pour former des clusters [22].

II.4.3 Domaines d'applications du clustering [23]:

Le clustering possède des domaines d'applications extrêmement variés, parmi lesquels :

- **Le Marketing** : segmentation du marché en découvrant des groupes de clients distincts à partir de bases de données d'achats.
- **L'environnement** : identification des zones terrestres similaires dans une base de données contenant des informations (en termes d'utilisation) de la terre.
- **Les assurances** : identification de groupes d'assurés distincts associés à un nombre important de déclarations.
- **La planification des villes** : identification de groupes d'habitations suivant leurs types, valeur, localisation géographique.
- **La médecine** : Localisation de tumeurs dans le corps humain. Par exemple, dans un nuage de points fournis par le scan du cerveau, on identifie les points définissant une tumeur.
- **La segmentation d'images** : Détection des zones homogènes dans une image.
- **Web log analysis** : Identification de profils d'utilisateurs à travers leur flux de clics (Clickstream).
- **Text mining** : Classification des textes selon leur similitude dans des dossiers automatiques.

II.4.4 Types de transmission dans le routage :

La maximisation de la durée de vie d'un réseau de capteur dépend fortement de certaines solutions de routage. Dans cette partie nous présentons quelques schémas de routage utilisant le multi-saut.

- Les auteurs ont proposé deux versions améliorées de LEACH : Energy-LEACH et Multihop-LEACH. Le protocole Energy-LEACH permet de choisir comme cluster-heads les noeuds qui ont plus d'énergie résiduelle, cependant le protocole multihop-LEACH permet d'améliorer la communication entre les CHs et entre les CHs et la station de base [24].

- Les auteurs ont proposé deux protocoles LEACH-D (Leach based on density of node distribution) et LEACH-L (Energy Balanced LEACH). Ces deux protocoles travaillent en boucle, et chaque tour est divisé en phase d'établissement et en phase de stabilisation, Dans LEACH-L, les CHs fusionnent les données provenant des noeuds membres. Si les CHs sont proches de la station de base, ils envoient les données directement à la station de base, sinon ils optent pour une stratégie multi-sauts dans laquelle le prochain saut est choisi en fonction de son énergie et de la distance qui le sépare de la station de base [25].

II.4.5 Greedy forwarding:

La méthode "Greedy Forwarding" est une stratégie qui utilise la distance ou la direction des nœuds comme paramètres pour choisir le prochain saut du chemin de la destination.

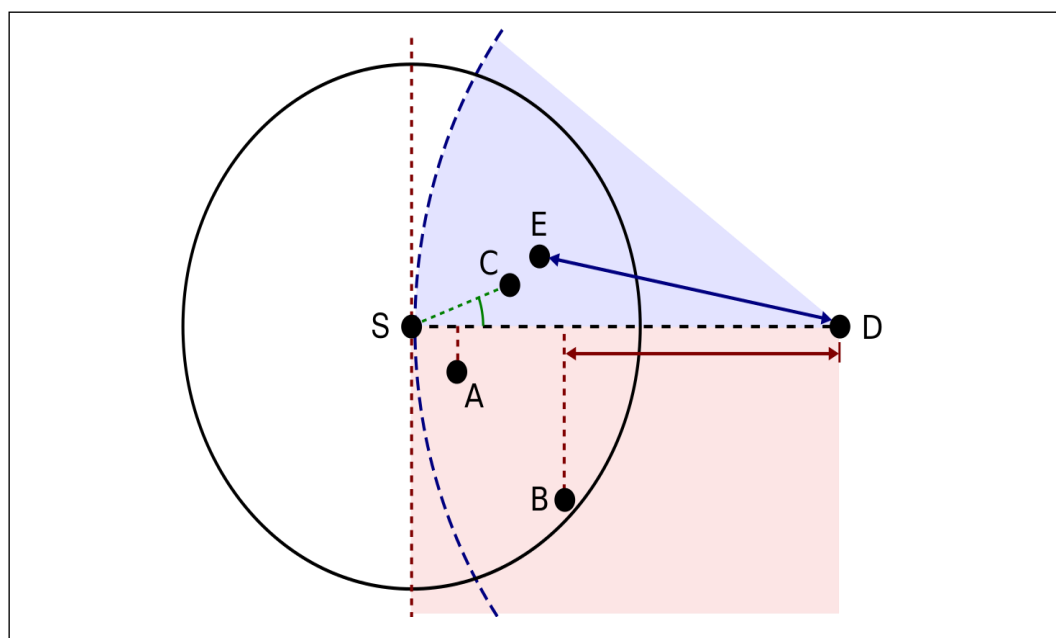


Figure 2.4: Greedy Forwarding basée sur la distance [46].

La figure 2.4 représente un exemple de la stratégie Greedy Forwarding, Le nœud source (S) a différents choix pour trouver un nœud relais pour transmettre ultérieurement un message à la destination (D). A = le plus proche avec progression de la transmission NFP (**N**earest **F**orward **P**rogress), B = la plus grande progression de la transmission dans le rayon MFR (**M**ost **F**orward **w**ithin **R**adius), C = routage de la boussole, E = greedy.

Chaque fois que le nœud S a un paquet de données à envoyer à la station de base, il choisit le voisin le plus proche à la station de base comme prochain saut (le nœud B dans

cet exemple). Ce processus de routage sera répété de la même manière jusqu'à ce que le paquet de données atteigne la station de base [26].

II.5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les types de routage dans les RCSFs et les protocoles de routage, nous avons fait un tour d'horizon des principaux concepts et définitions relatifs au problème du clustering. Nous constatons aisément au vu des multiples domaines d'application du clustering et des différents types de données à traiter, qu'aucune méthode ne peut être qualifiée de meilleure par rapport à une autre sur l'ensemble des applications envisageables.

Afin d'aider l'utilisateur dans le choix d'une méthode de résolution, un ensemble de critères a été présenté ainsi qu'une classification des différentes méthodes de clustering existantes.

Dans le chapitre suivant, nous décrirons en détail le protocole LEACH.

Chapitre III

Le protocole de routage LEACH

III.1 Introduction

L'approche utilisée par les protocoles hiérarchiques basés sur les clusters est de regrouper les nœuds du réseau en clusters. LEACH est un exemple de protocole de routage hiérarchique, employant un procédé de clustering qui divise le réseau en deux niveaux : les cluster-heads ou chef de groupe, et les nœuds membres ou générales [28].

Dans ce chapitre nous décrivons le protocole de routage LEACH, et nous allons présenter les différentes phases utilisées par de ce dernier, leurs avantages, leurs inconvénients, leurs limitations ainsi que les différentes extensions de ce protocole.

III.2 Description du protocole LEACH :

LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarch) est le plus populaire des protocoles de routage hiérarchique, introduit par Heinzelman et Al. Ce protocole se base sur la clustérisations dynamique. Il a été l'un des premiers protocoles hiérarchiques basé sur un « cluster » ou grappe implémenté pour les RCSF qui partitionne les nœuds en clusters.

Il est également considéré comme la base des autres protocoles de routage de cluster. Dans chaque cluster, un nœud dédié avec des privilèges supplémentaires, appelé Cluster Head (CH) est responsable de la création et de la manipulation TDMA (Time Division Multiple Access) et envoie des données agrégées des nœuds à la station de base où ces données sont nécessaires en utilisant CDMA (Code Division Multiple Access). Les nœuds restants sont des membres de cluster [30].

- **L'accès multiple par répartition temporelle (TDMA) :**

Technique basée sur un multiplexage temporel utilisé dans LEACH pour l'accès au médium. Chaque nœud utilise la totalité de la bande passante allouée par le système de transmission durant son slot de temps. En fait, chaque CH agit comme un centre de commande local pour coordonner les transmissions des données grâce à l'envoi préalable du table TDMA aux membres de leur cluster. Donc cela, permet que chaque membre du cluster connaît d'avance le slot de temps qu'il va occuper, cela permet alors au nœud de passer à l'état "endormi" durant les slots inactifs. Ainsi, la perte d'énergie est évitée [32].

- **L'accès multiple par répartition de codes (CDMA) :**

La technique CDMA est basée sur le principe du spectre étalé, chaque cluster head choisit aléatoirement un code dans une liste de codes de propagation CDMA pour éviter les interférences avec les CHs lors de l'envoi des données agrégées à la station de base [34].

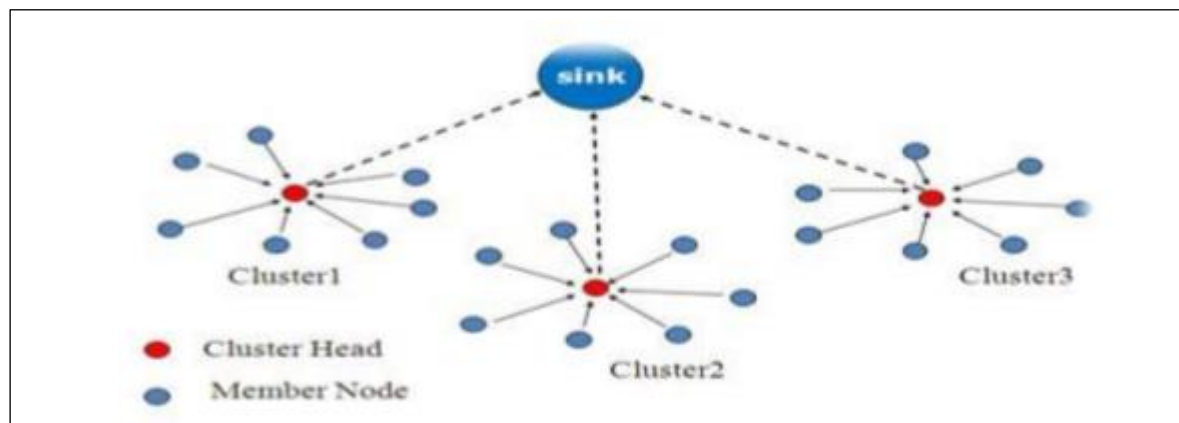


Figure 3.1 : Algorithme de routage LEACH [31].

III.2.1 L'objectif du protocole LEACH :

L'objectif principal du protocole de routage hiérarchique LEACH est de maintenir efficacement la consommation d'énergie des nœuds de capteurs en les impliquant dans la communication multi-saut au sein d'un cluster et en effectuant l'agrégation et la fusion des données afin de diminuer le nombre de messages transmis à la destination. La formation de clusters est généralement fondée sur la réserve d'énergie des capteurs et sur les capteurs qui sont à proximité de cluster-head [29].

III.2.2 Le principe de base du protocole LEACH :

Le principe de LEACH consiste à diviser le réseau en deux niveaux: les cluster-heads ou chef de groupe. Son rôle est de collecter les informations capturées par ses membres et les acheminer à la station de base, et les nœuds membres ou générales.

Le protocole LEACH utilise la rotation randomisée pour la sélection des CH, pour une répartition uniforme de la charge énergétique entre tous les nœuds du réseau, et se déroule en rounds. Chaque round se compose de deux phases : configuration et transmission [28].

III.2.3 Les différentes phases du protocole LEACH :

LEACH s'exécute en deux grandes phases : la phase de configuration du cluster, « set-up phase » et la phase de transmission « steady-phase ».

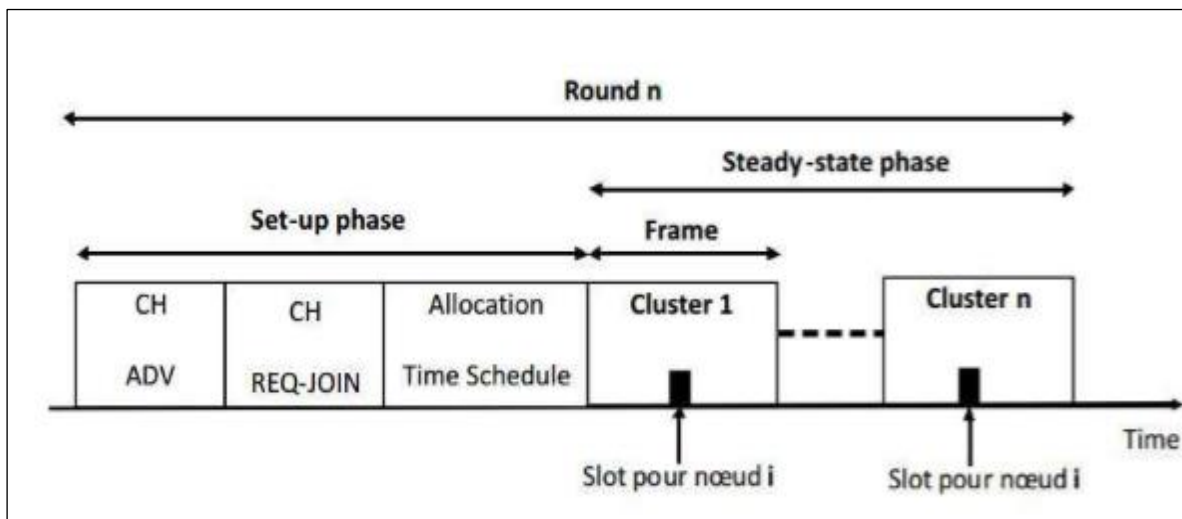


Figure 3.2 : Les deux phases d'exécution pour le protocole LEACH [32].

III.2.3.1 La phase de configuration du cluster (set-up phase) :

Lors de la phase de configuration « set-up phase », les nœuds cluster-head sont élus et les clusters sont formés.

L'élection des cluster-heads se déroule comme suit : chaque nœud choisit un nombre de manière aléatoire entre 0 et 1. Si ce nombre est inférieur à une valeur $T(n)$, le nœud devient cluster-head. $T(n)$ est défini comme suit [28]:

$$T(n) = \begin{cases} \frac{P}{1 - p * (r \bmod 1/p)} & \text{Si } (n \in G) \\ 0 & \text{Sinon} \end{cases}$$

- Avec :

P : est le pourcentage de clusters souhaité par exemple (5%).

n : numéro de nœuds donné.

r : est le round courant.

G : représente l'ensemble des nœuds qui n'ont pas encore élu comme cluster-head sur les $1/P$ derniers rounds.

Chaque CH élu émet un message de signalisation (ADV-CH) au reste des nœuds dans le réseau. Dans ce message il annonce qu'il est élu CH pour cette période. Tous les nœuds membres ou générales (GN) non affilié recevant ce message envoie une demande d'adhésion au cluster-head correspondant. Le choix du cluster-head est basé sur la puissance du signal reçu.

Par la suite, chaque nœud non-CH informe le CH du cluster choisi par l'envoi d'une requête d'appartenance (JOIN-REQ).

Après la réception des messages de joindre de tous les membres du cluster, le CH créer une suite temporelle (table TDMA), afin d'allouer à chaque nœud membre du cluster le slot de temps approprié quand il peut transmettre.

La figure 3.3 illustre un diagramme qui résume la première phase de l'algorithme [33]:

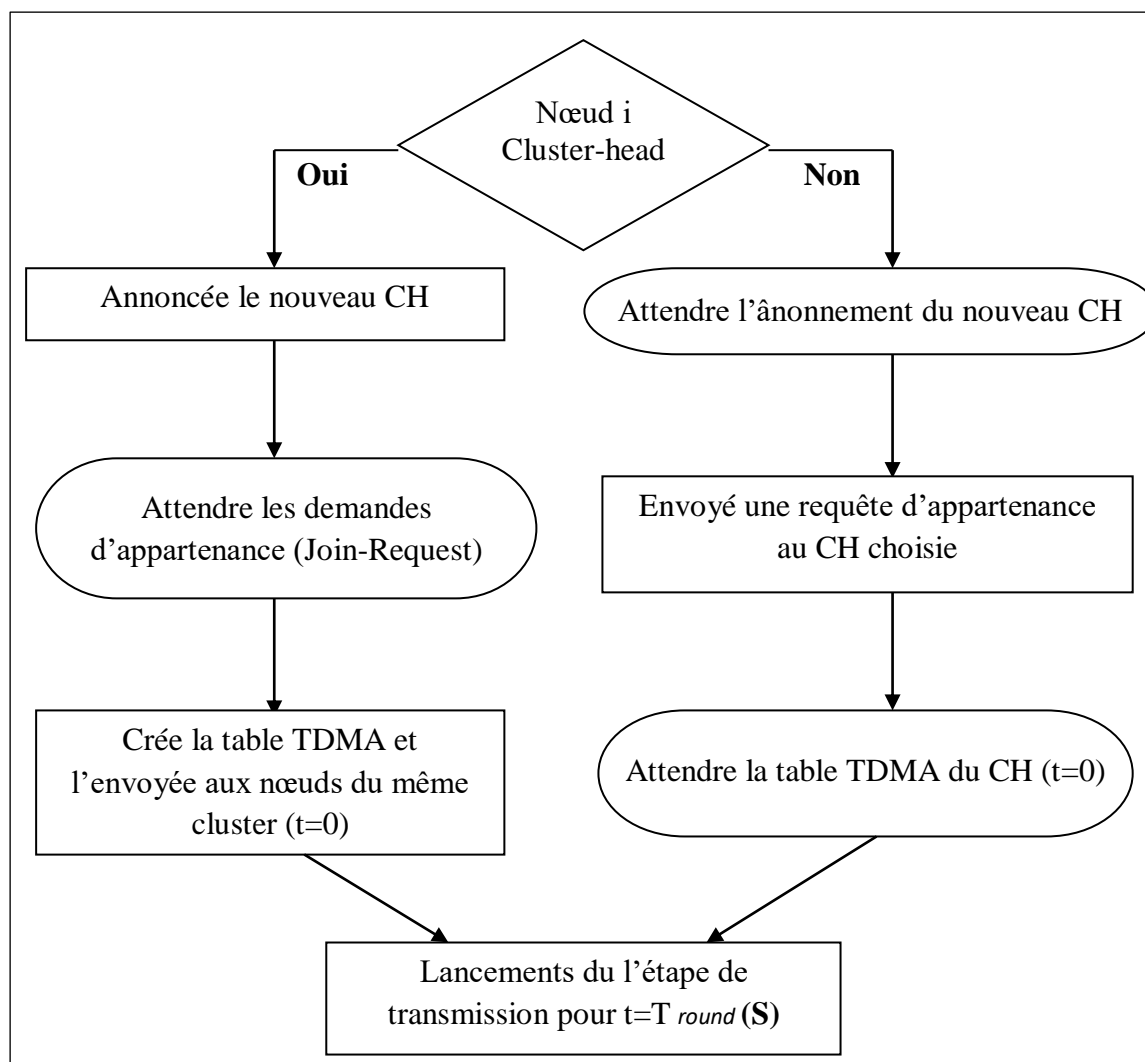


Figure 3.3 : La phase d'initialisation (set-up) [32].

III.2.3.2 La phase de transmission de données (steady state phase) :

En utilisant le Schedule TDMA, Chaque nœud membre (non-CH) dans le cluster transmet les données collectées à son CH. Et après le CH effectuer une opération d'agrégation puis une autre opération de compression de toutes ces données afin de l'envoyer à la station de base (sink) [28].

Après un intervalle de temps donné, une rotation randomisée du rôle du CH est conduite de sorte que la dissipation uniforme d'énergie dans le réseau de capteurs soit obtenue. En outre, LEACH utilise la technique de multiplexage CDMA pour que les CH envoient les données à la station de base, où la communication inter-cluster aura lieu. La communication peut être directe (un seul saut) ou indirecte (multi-sauts). Un nouveau round aura lieu après la fin de cette phase, ce processus est répété jusqu'à ce que tous les nœuds du réseau soient élus comme CH, une seule fois, tout au long des rounds précédents. Dans ce cas, le round est réinitialisé à 0 [33].

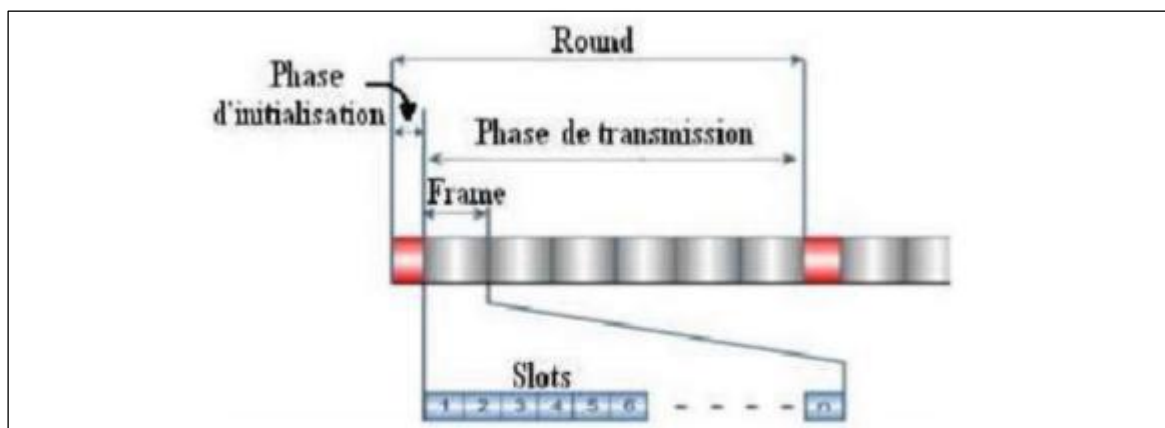


Figure 3.4:Répartition du temps dans la phase de transmission [32].

La figure 3.5 illustre un diagramme qui résume la deuxième phase de l'algorithme:

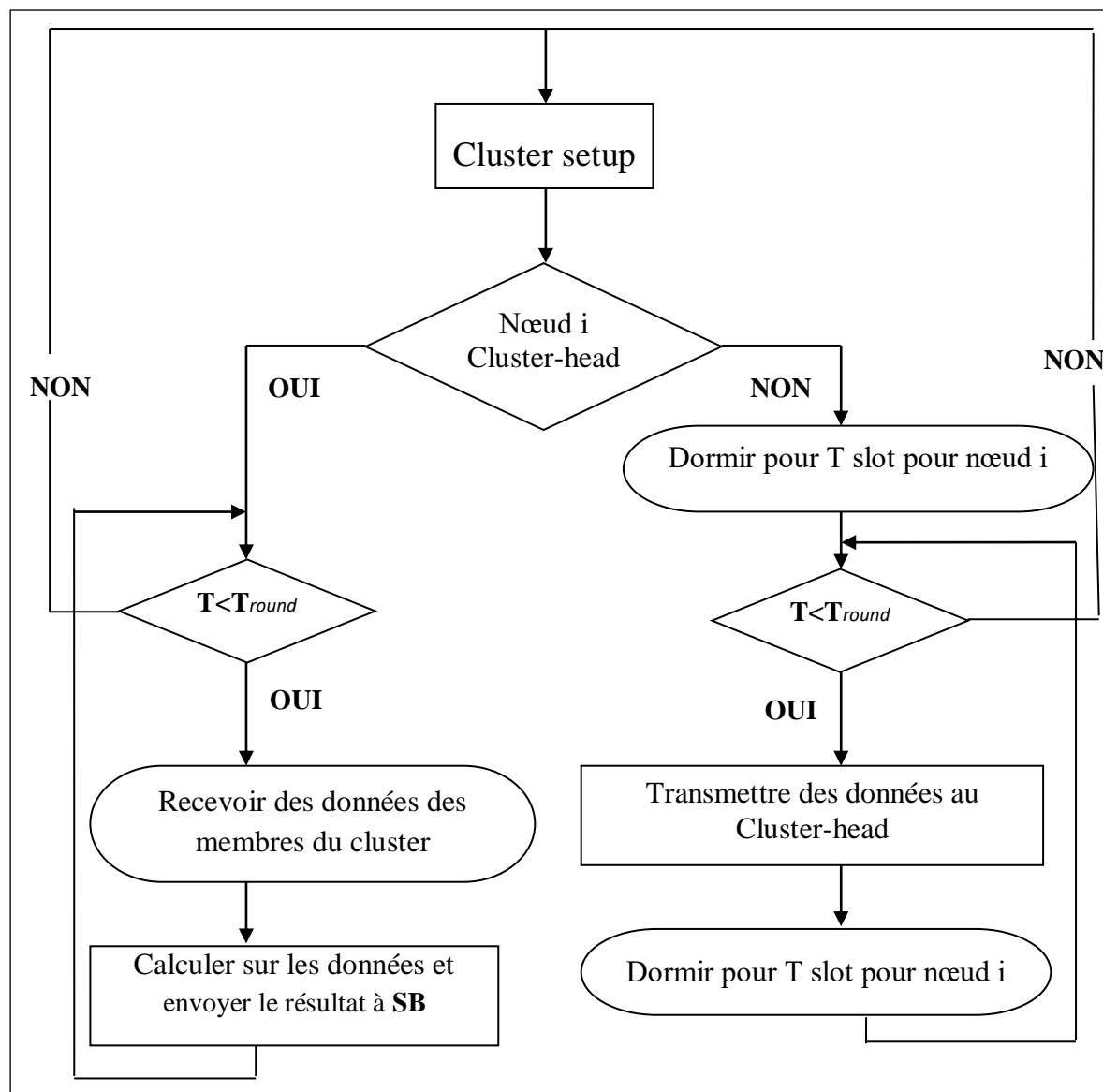


Figure 3.5: La phase de transmission (steady state phase) [47].

III.2.4 Les avantages du protocole LEACH [34] :

- Protocole auto-organisateur basé sur le groupement adaptatif ;
- Rotation des rôles de chefs de groupes ;
- Faible énergie pour l'accès au média ;
- Compression locale (Agrégation).
- Lorsqu'un nœud n'est pas dans son slot, il éteint sa radio pour conserver son énergie.
- L'utilisation des techniques TDMA/CDMA permet d'avoir une hiérarchie et de réaliser des clusterings sur plusieurs niveaux.

III.2.5 Les inconvénients du protocole LEACH [34] :

- La possibilité de ne pas avoir des CH durant un round;
- Les nœuds les plus éloignés du CH meurent rapidement par rapport aux plus proches ;

- Les CHs les plus éloignés de la station de base meurent rapidement par rapport à ceux qui sont proches de la station ;
- L'utilisation d'une communication à un seul saut au lieu d'une communication multi-sauts diminue l'énergie des nœuds ;
- La rotation des CH n'est pas efficace pour de grandes structures de réseaux à cause de la surcharge d'annonces engendrées par le changement des CH ;
- Il n'est pas évident que les CH soient uniformément distribués ;
- L'apparition des nœuds isolés. Un nœud isolé est un nœud qui ne se trouve pas dans la table TDMA (ne possède pas une tranche de temps (slot time) pour envoyer leur donnée à la station de base). Pour cela ce nœud isolé doit transmettre leurs données directement à la station de base. Cette transmission directe exige une forte consommation d'énergie qui conduit à la diminution de la durée de vie du réseau.

Pour surmonter les inconvénients de LEACH, de nombreux protocoles ont été proposés dans la littérature pour surmonter la solution optimale. Divers algorithmes heuristiques basés sur l'algorithme génétique (GA), l'algorithme (PSO) et l'algorithme Firefly et les colonies d'abeilles artificielles (ABC) ont été proposés pour résoudre des problèmes d'optimisation [32].

III.2.6 Limitations du protocole LEACH :

Le protocole LEACH réduit efficacement la perte d'énergie dans la communication par une rotation aléatoire dans laquelle le nœud de cluster-head tourne entre les différents capteurs afin de répartir la charge d'énergie de manière uniforme et de prolonger la durée de vie du réseau. De plus, LEACH effectue une fusion de données locales pour "compresser" la quantité de données envoyées des clusters à la station de base, ce qui réduit encore la redondance des données. L'utilisation de TDMA / CDMA réduit le conflit au sein du cluster et celui entre les clusters.

Ce protocole de routage hiérarchique est une percée par rapport aux protocoles plats. La durée de vie du réseau est prolongée en coupant une partie de l'énergie. Cependant, il existe encore quelques limitations dans LEACH:

1. La sélection de cluster-head est déterminée par un système aléatoire sans tenir compte de l'énergie résiduelle des nœuds, donc une fois qu'un nœud avec moins

d'énergie est sélectionné pour être cluster-head, son énergie se dissipera rapidement, puis les nœuds de ce cluster perdront le contact avec son cluster-head et sink.

En d'autres termes, cela accélérera la dissipation d'énergie, raccourcira la durée de vie du réseau et pourrait, au pire, mettre le réseau hors service.

2. LEACH n'a pas précisé comment les nœuds de tête de cluster sont situés dans le réseau. Les résultats de la simulation confirment que tous les cluster-heads peuvent être concentrés dans une certaine partie du réseau, et aucune n'apparaîtra dans d'autres parties.
3. une fois que les nœuds de cluster-head sont déterminés, ils doivent envoyer un message de publication à tous les autres nœuds de LEACH. Cela signifie qu'une puissance d'émission importante des nœuds de tête de cluster est requise, donc LEACH ne s'applique pas aux réseaux à grande échelle [36].

III.2.7 Les différentes extensions du protocole LEACH :

- **LEACH-C :**

LEACH-C (Centralised) est une variante de LEACH, a été conçue pour répondre au problème de sélection aléatoire du CH dans LEACH. Elle a été proposée par les mêmes auteurs de LEACH. Cette variante utilise une architecture centralisée pour choisir les Cluster Head, la phase d'état stable de LEACH-C est comme suite :

- Lors de la phase d'installation de LEACH-C, les nœuds informent la station de base par l'envoi d'informations sur leur position par GPS et leur niveau d'énergie.
- La station de base désigne les cluster-heads en se basent sur la moyenne des niveaux d'énergie, les nœuds ayant un niveau d'énergie inférieur à la moyenne ne peuvent pas être des cluster-heads dans l'itération courante.
- Enfin, la station de base diffuse un message contenant les identificateurs des cluster-heads.
- Le fonctionnement des autres opérations est similaire à celui de LEACH [37].

- **LEACH-F :**

Il s'agit de la version modifiée du protocole LEACH avec des dispositifs fixes et des cluster-heads rotatifs. Ici, les clusters sont formés une fois et fixés, et la position des

cluster-heads tourne parmi les nœuds au sein de cluster. Comme les clusters ne sont formés qu'une seule fois, il n'y a pas donc de frais généraux d'installation au début de chaque round. LEACH-F note que de nouveaux nœuds peuvent être ajoutés au système et n'ajuste pas leur comportement en fonction de la mort des nœuds [38].

- **V-LEACH :**

V-LEACH est une nouvelle version du protocole LEACH qui vise à réduire la consommation d'énergie au sein du réseau sans fil. Le concept principal derrière V-LEACH est qu'en plus d'avoir un CH dans le cluster, il y a un vice-chef de cluster qui joue le rôle du CH quand le CH meurt. En faisant cela, les données des nœuds de cluster atteindront toujours la BS, pas besoin d'élire un nouveau CH chaque fois que le CH meurt, ce qui prolongera la durée de vie globale du réseau [38].

- **Le protocole « HEED » (Hybrid Energy-Efficient Distributed Clustering) :**

Le protocole HEED est une extension du protocole LEACH par l'introduction d'une nouvelle métrique telle que l'énergie résiduelle, la densité ou le degré d'un nœud capteur pour la sélection des clusters.

Le protocole opère dans des réseaux multi-sauts en adaptant la puissance de transmission dans le cas des communications inter-clusters.

L'algorithme sélectionne périodiquement des CH selon deux paramètres de classification: l'énergie résiduelle des nœuds pour le calcul de la probabilité de sélection des CH et le cout de la communication intra-cluster comme fonction de densité de cluster ou degré d'un nœud.

Le protocole commence par une phase d'initialisation ou une probabilité de sélection d'un nœud capteur en tant que CH est calculée:

$$CHprob = Cprob * \frac{Et^{(i)}}{Etot}$$

Avec:

- $Et^{(i)}$: l'énergie résiduelle d'un nœud i ;
- $Etot$: l'énergie totale du réseau ;

- C_{prob} : le nombre optimal de clusters.

Ce protocole offre des performances meilleures que celles de LEACH en termes de prolongation de la durée de vie du réseau car la sélection des CH ne s'effectue pas de façon aléatoire, ce qui provoquerait dans plusieurs cas une disparition rapide de nœuds mal choisis pour être CH [35].

III.3 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté en détail le protocole LEACH qui est considéré comme le premier protocole de routage basé sur la notion de cluster pour les RCSF. Le chapitre suivant expose la simulation du protocole de routage LEACH par l'utilisation de l'environnement de simulation MATLAB ainsi que les résultats trouvés.

Chapitre IV

La Simulation du protocole LEACH

IV.1 Introduction :

Dans ce dernier chapitre nous présenterons la simulation et l'évaluation du protocole de routage hiérarchique LEACH étudié, dans lequel les différents scénarios de simulation sont exposés pour celui-ci, décrivant d'abord l'environnement de simulation que nous avons utilisé, et enfin, nous discuterons en détail les résultats obtenus à partir de la simulation de ce protocole de routage.

IV.2 L'environnement de simulation :

IV.2.1 Définition du MATLAB :

MATLAB est un logiciel de calcul matriciel à syntaxe simple. Avec ses fonctions spécialisées. Développé par la société The MathWorks, MATLAB peut être aussi considéré comme un langage de programmation adapté pour les problèmes scientifiques et techniques. C'est un langage basé sur les matrices, il allie mathématique, modélisation graphique et programmation. MATLAB dispose d'une large bibliothèque de fonctions intégrées et pré-écrites avec des notations simples et puissantes pour de nombreuses tâches de calculs communes. Ces fonctions peuvent être construites dans tous les langages de programmation, MATLAB permet de les retrouver dans un seul endroit. La simulation du protocole étudié requiert l'utilisation et la manipulation de vecteurs, de tableaux et de matrices. Le côté évaluation des performances quant à lui, requiert la génération de graphes, et donc l'utilisation des outils de traçage qu'offre MATLAB [47].

Dans notre simulation on a utilisé la version R2018a de MATLAB.

IV.2.2 Les particularités du MATLAB :

Comme tout langage de programmation MATLAB permet de définir des données variables. Une variable est désignée par un identificateur qui est formé d'une combinaison de lettres et de chiffres. Le premier caractère de l'identificateur doit nécessairement être une lettre.

MATLAB différencie majuscules et minuscules ! Ainsi X33 et x33 désignent deux variables distinctes. Les variables sont définies au fur et à mesure que l'on donne leurs noms (identificateur) et leurs valeurs numériques ou leurs expressions mathématiques. L'utilisation de variables avec MATLAB ne nécessite pas de déclaration de type ou de dimension. Le type et la dimension d'une variable sont déterminés de manière automatique

à partir de l'expression mathématique ou de la valeur affectée à la variable. Une variable peut être de type réel, complexe, chaîne de caractères ou logique.

Pour MATLAB toute variable est considéré comme étant un tableau d'éléments d'un type donné.

MATLAB différencie trois formes particulières de tableaux :

- ✓ les scalaires qui sont des tableaux à une ligne et une colonne.
- ✓ les vecteurs qui sont des tableaux à une ligne ou à une colonne.
- ✓ les matrices qui sont des tableaux ayant plusieurs lignes et colonnes.

Une variable MATLAB est donc toujours un tableau que l'on appelle variable scalaire, vecteur ou matrice suivant la forme du tableau [48].

IV.3 La simulation :

La simulation est définie comme « un outil utilisé par le chercheur, l'ingénieur, le militaire, etc. pour étudier les résultats d'une action sur un élément sans réaliser l'expérience sur l'élément réel ». Les simulations sont réalisées dans un environnement simulé et non pas réel. Certains simulateurs sont plus complets que d'autres dans les résultats d'une simulation mais tous permettent d'étudier le comportement d'un réseau ayant une topologie et des caractéristiques précises.

Les simulateurs permettent ainsi d'anticiper sur la topologie d'un réseau. Lorsque les résultats d'une simulation ne sont pas satisfaisants, il est facile de modifier la topologie pour corriger les problèmes avancés par la simulation précédente.

La simulation est aussi intéressante pour créer la topologie d'un réseau avant de la mettre en place réellement. Et cela est possible car les simulateurs intègrent un grand nombre d'outils permettant de réaliser des simulations assez réalistes. On peut aussi se servir d'un simulateur pour tester un nouveau protocole (la facilité de l'intégration dépend du simulateur utilisé) avant de l'utiliser réellement (un protocole de réseau de capteurs sans fil) [49].

IV.3.1 Les paramètres de simulation utilisés :

Afin d'évaluer le protocole LEACH, nous avons effectué plusieurs simulations. Les principaux paramètres de simulation sont résumés dans le tableau 4.1.

Il est à noter que nos résultats sont basés sur la simulation d'un type de réseau, de 100 nœuds déployés aléatoirement dans une zone de 100 m x 100 m pendant 50 tours (rounds) de simulation. Dans les différents scénarios utilisés et mis en œuvre, le trafic est généré

périodiquement en modifiant le paramètre de trafic. L'énergie initiale de chaque nœud de capteur est définie à partir des deux valeurs suivantes (0.05 joule et 0.03 joule). La position de la station de base (Sink (ou SB)) est fixée aux coordonnées (0m, 0m) et la probabilité optimale pour l'élection des Cluster-Heads (CHs) utilisée pour le fonctionnement du protocole LEACH est égale à 0.1.

Paramètres	Valeurs	Unité de mesure
La surface du réseau	(100*100)	(m*m)
Localisation de la station de base	(0,0)	Mètres
Nombre des nœuds	100	-
Nombre des tours (rounds)	50	-
L'énergie initiale des nœuds	0.05, 0.03	Joules
ETX (énergie consommée durant transmission)	50*0.000000001	Joules
ERX (énergie consommée durant la réception).	50*0.000000001	Joules
Emp (énergie multi path)	0.0013*0.00000000001	Joules
EFS (Quantité d'énergie consommée pour l'espace libre) « energie free space »	10*0.0000000000001	Joules
EDA (Energie d'agrégation de données)	5*0.000000001	Joules
LEACH		
Probabilité optimale de l'élection des CHs	0.1	-

TABLE 4.1: Paramètres de simulation.

IV.3.2 Les métriques de performance :

Les métriques de performance utilisées pour évaluer le protocole de routage LEACH sont les suivantes :

1. **Energie résiduelle moyenne:** représente la quantité d'énergie moyenne restante au niveau de la batterie de chaque nœud dans le réseau à l'instant t.
2. **La durée de vie :** La durée utilisée pour l'exécution de simulation du protocole LEACH (par tours (rounds)).

Les performances dans cette métrique sont mesurées par 5 points suivants :

- 2.1 Nœuds vivants durant les rounds (nombre des nœuds vivants dans chaque tour).
- 2.2 Nœuds morts durant les rounds (nombre des nœuds morts dans chaque tour).
- 2.3 Nombre du cluster Head (dans chaque tour).
- 2.4 Paquets envoyés à cluster head (nombre de paquets envoyés à CH dans chaque tour).
- 2.5 Paquets envoyés à la station de base (nombre de paquets envoyés à SB dans chaque tour).
- 2.6 La somme de quantité de données reçues par SB et CH.

IV.3.3 Le fonctionnement du simulateur :

Le fonctionnement de base de notre simulateur est indiqué par le l'organigramme de la figure suivante :

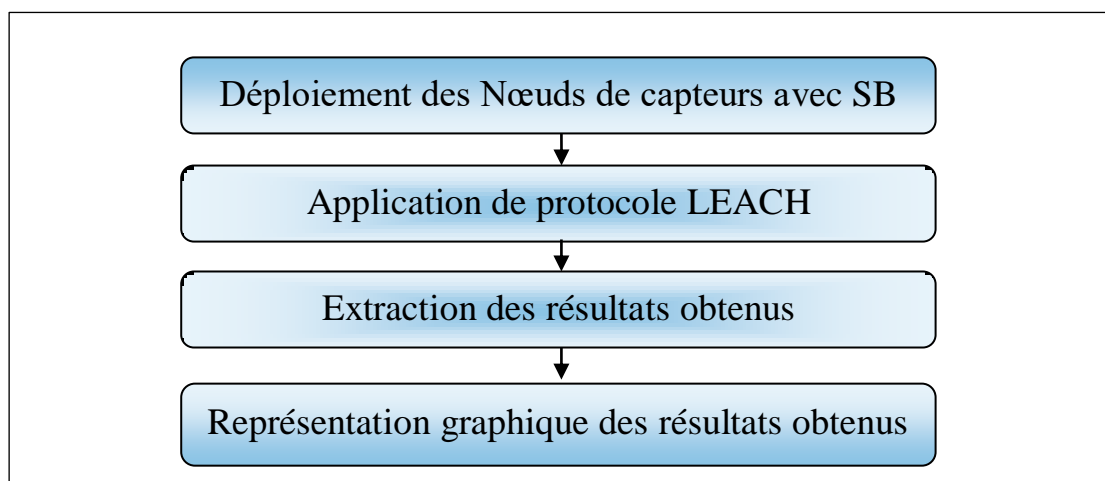


Figure 4.1: Fonctionnement du simulateur réalisé.

IV.3.4 Le bloc fonctionnel du simulateur :

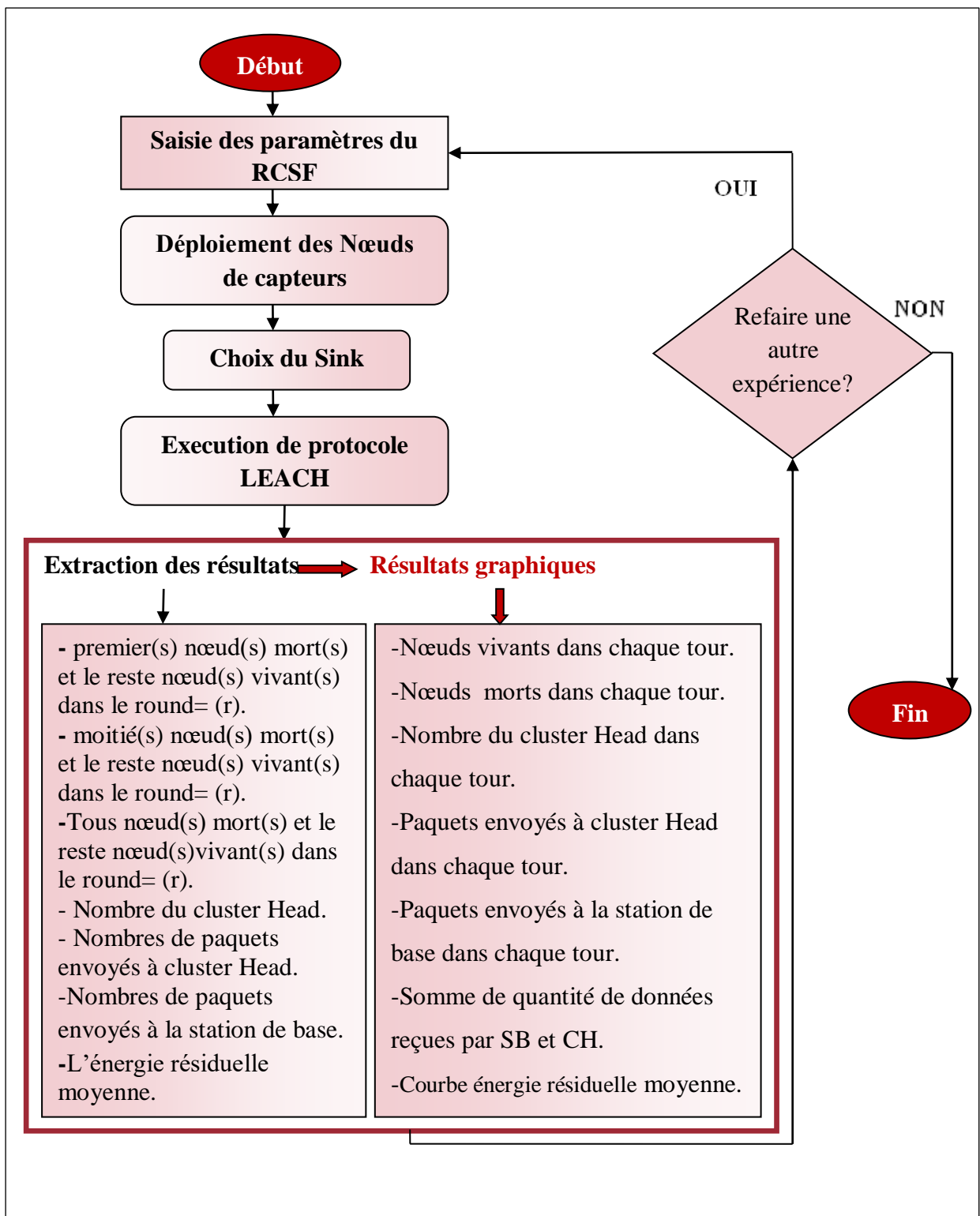


Figure 4.2 : Schéma du bloc fonctionnel du simulateur réalisé.

IV.3.5 La description du simulateur et les résultats de simulation :

IV.3.5.1 L'interface principale :

Afin de saisir les différents paramètres de simulation (du RCSF et du protocole LEACH), l'utilisateur doit utiliser l'interface principale de notre simulateur décrit dans la figure suivante:

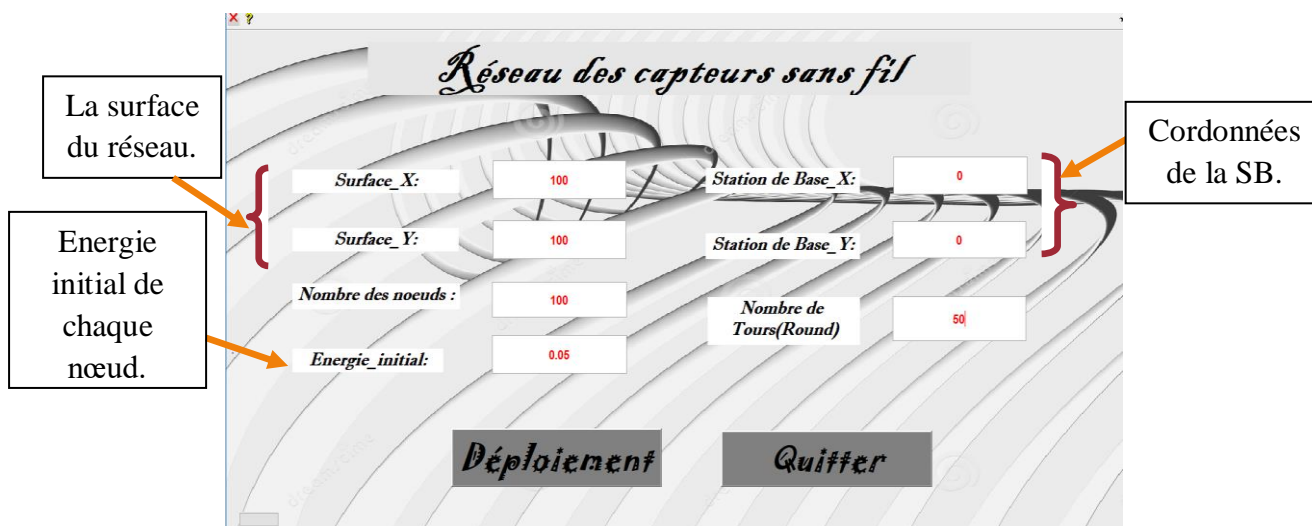


Figure 4.3 : l'interface principale du simulateur.

IV.3.5.2 Déploiements des nœuds de capteurs :

Cette étape consiste à déployer les 100 nœuds de capteurs sans fil dans un espace à deux dimensions d'une manière aléatoire sur une zone de 100 m² (voir la figure 4.4) on se basant sur une fonction aléatoire qui génère à chaque fois un positionnement différent par rapport au positionnement précédent. Chaque nœud au démarrage possède les données suivantes :

- Une position en deux dimensions.
- Une portée radio de son transmetteur permettant la détection de ses voisins.
- Energie initiale de nœud.

La station de base (SB) est positionnée aux coordonnées (0m, 0m). Au démarrage et avant l'exécution du protocole LEACH tous les nœuds sont homogène (il n'y a pas de Cluster Head).

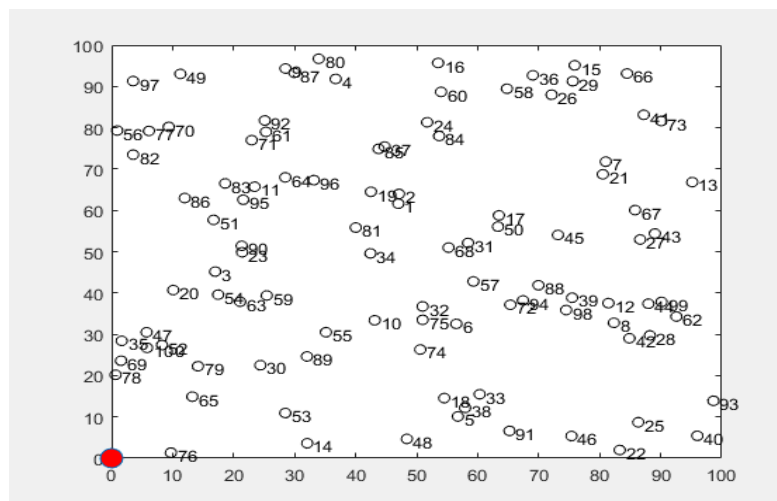


Figure 4.4 : Déploiement aléatoire de 100 nœuds capteurs.

IV.3.5.3 Le déroulement du protocole LEACH :

a- La sélection des clusters-Head (CHs) et la création des clusters :

Premièrement et après l'exécution du protocole LEACH, en exécutant la première phase utilisée par celui-ci, où l'élection des CHs est exécuté et les clusters associés à ce dernier sont formés (voir la section III.2.3.1 du chapitre 03). Les résultats ainsi obtenus sont illustrés par la figure (4.5) ci-dessous:

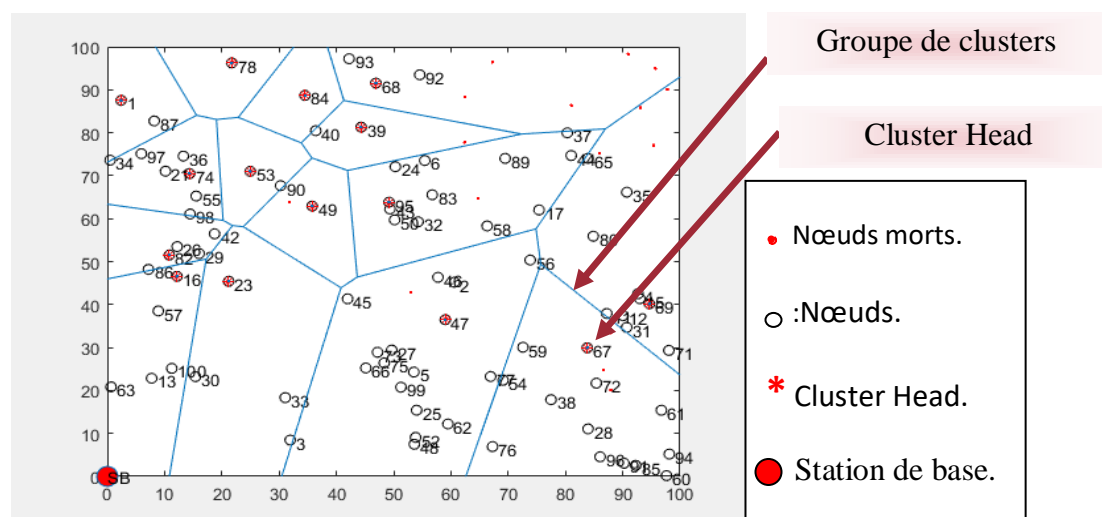


Figure 4.5 : Élection des CH et la création des clusters associés.

b- Les résultats et discussion :

Dans notre simulation, nous avons déroulé le protocole LEACH afin d'analyser et d'évaluer ses performances. Les résultats obtenus sont présentés dans les figures ci-dessous :

1. Les nœuds morts durant les rounds :

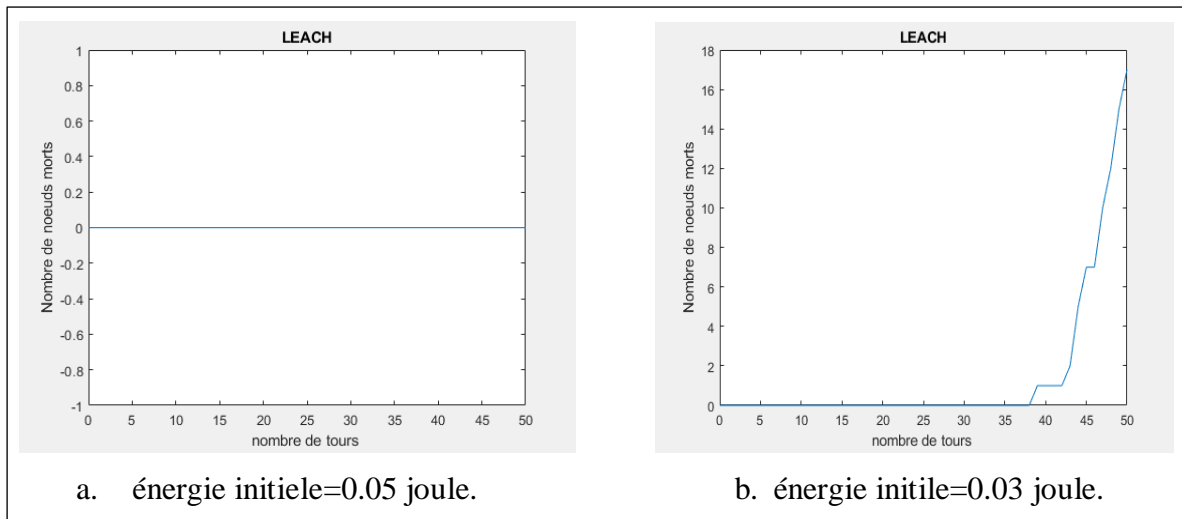


Figure 4.6: Le nombre de nœuds morts.

Les figures 4.6 (a) et 4.6 (b) présentent les résultats de la simulation obtenus pour la métrique du nombre des nœuds morts durant les rounds où l'énergie initiale de chaque nœud égale à 0.05 joule et 0.03 joule respectivement. Les résultats indiquent que le nombre des nœuds morts durant les rounds augmente avec la diminution de l'énergie initiale de chaque nœud dans le réseau. Nous observons de la figure 4.6 (a) qu'il n'y a pas de nœuds morts (indiqué par la courbe constante dans la figure) grâce à leur énergie qui n'est pas épuisée. Par contre pour la figure 4.6 (b) nous remarquons une augmentation dans le nombre des nœuds morts en fonction du nombre de tours, atteignant jusqu'à 17 nœuds morts, et cela est dû à leur épuisement d'énergie où l'enregistrement des premiers nœuds morts est commencé à partir du round n° 39.

2. Les Nœuds vivants durant les rounds :

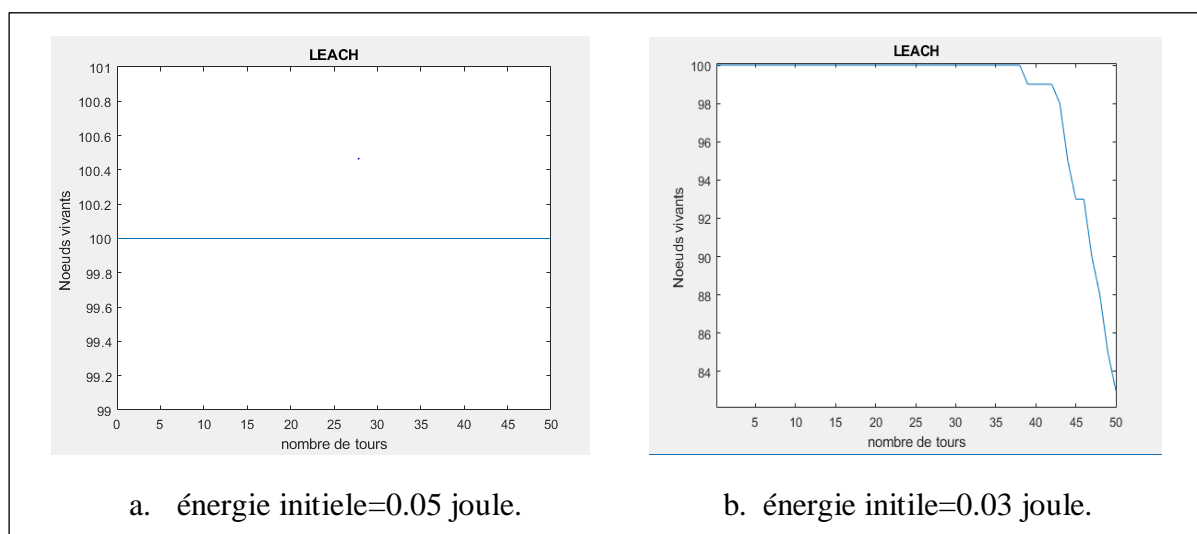


Figure 4.7: Le nombre de nœuds vivants.

Les figures 4.7 (a) et 4.7 (b) présentent les résultats de la simulation obtenus pour la métrique du nombre des nœuds vivants durant les rounds où l'énergie initiale de chaque nœud égale à 0.05 joule et 0.03 joule respectivement. Les résultats indiquent que le nombre des nœuds vivants durant les rounds diminue avec la diminution de l'énergie initiale de chaque nœud dans le réseau. Nous observons de la figure 4.7 (a) que le nombre des nœuds vivants est toujours le même durant les différents rounds (indiqué par la courbe constante dans la figure) est ceci grâce à leur énergie qui n'est pas épuisée. Par contre pour la figure 4.7 (b) nous remarquons une diminution dans le nombre des nœuds vivant en fonction du nombre de tours, La diminution est apparue à partir de round 39 où le nombre des nœuds vivants restant = 83 (c.-à-d. qu'il y a 17 nœuds morts).

À travers des résultats obtenus, nous pouvons concluons que plus l'énergie initiale est élevée, le réseau peut avoir une durée de vie plus longue.

3. Le nombre de Cluster Head :

La figure ci-dessous montre le nombre de clusters Head formé par tour lors de la simulation de protocole LEACH.

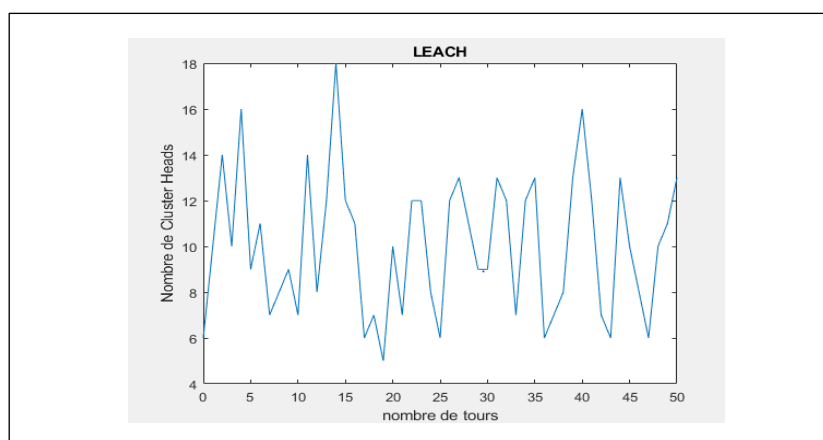


Figure 4.8: Le nombre de Cluster Head par tour.

Dans la phase d'élection des clusters Head (CHs) du protocole LEACH, la sélection de nombre de Clusters Head sont générés aléatoirement sur la base du modèle de fonction de seuil (voir la section III.2.3.1 du chapitre 3), qui présente un grand caractère aléatoire. D'après la figure (4.8), nous remarquons que la courbe n'est pas stable, cela signifie qu'à chaque tour le nombre de CH change. Où le nombre de clusters Head fluctue (k) entre 4 et 8 ($4 \leq k \leq 8$) avec le protocole LEACH.

4. Les paquets envoyés à Cluster Head :

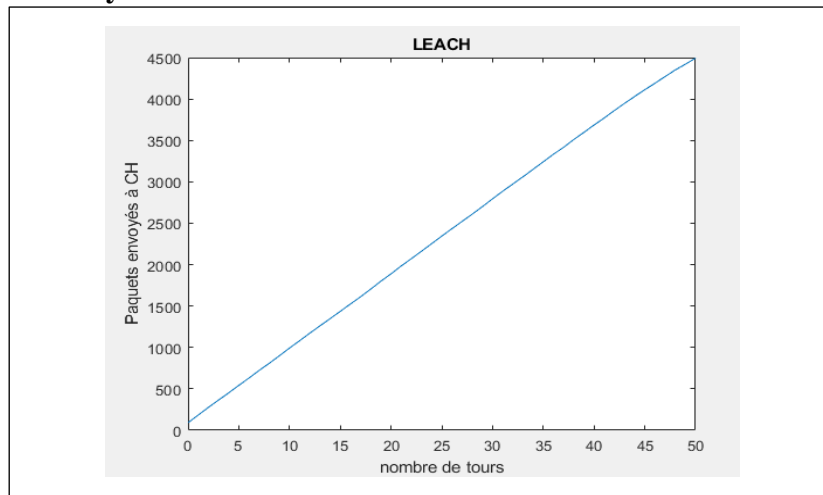


Figure 4.9: Paquets envoyés à CH.

La figure (4.9) présente les résultats obtenus pour la métrique de la quantité de données reçues par le cluster-Head (CH), qui est exprimée en fonction du nombre de paquets envoyés par les nœuds vers le cluster Head. Les résultats montrent que le protocole LEACH, assure une transmission de données jusqu'au round 50 avec un nombre de paquets important environ de 4494 messages. Ce résultat est dû que chaque nœud capteur peut transmettre les paquets dans leur slot allouer par le cluster Head qui n'est pas le même pour les nœuds du même cluster.

5. Les paquets envoyés à SB :

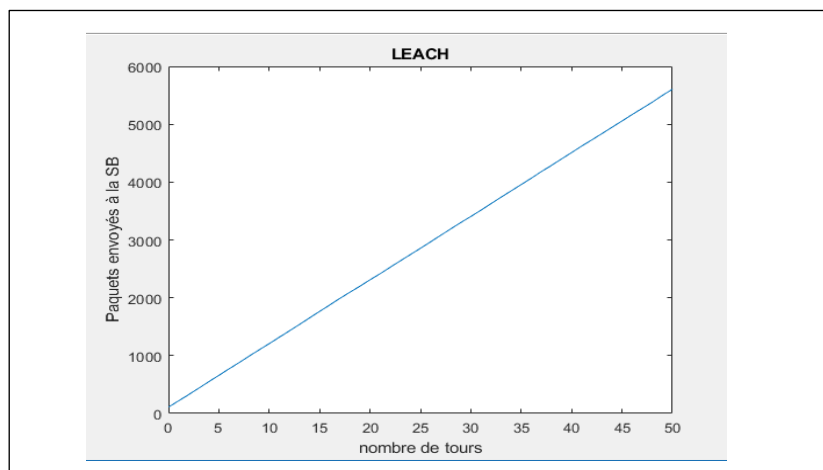


Figure 4.10: Paquets envoyés à SB.

La figure (4.10) présente les résultats obtenus pour la métrique de la quantité de données reçues par la station de base (SB), qui est exprimée en fonction du nombre de paquets envoyés par les nœuds cluster Head vers la station de base. Les résultats montrent que le protocole LEACH, assure une transmission de données jusqu'au round 50 avec un

nombre de paquets important environ de 5607 messages. Ce résultat est dû que les paquets de données sont transmis vers la station de base seulement par les clusters Head.

6. La somme de quantité de données reçues par SB et CH :

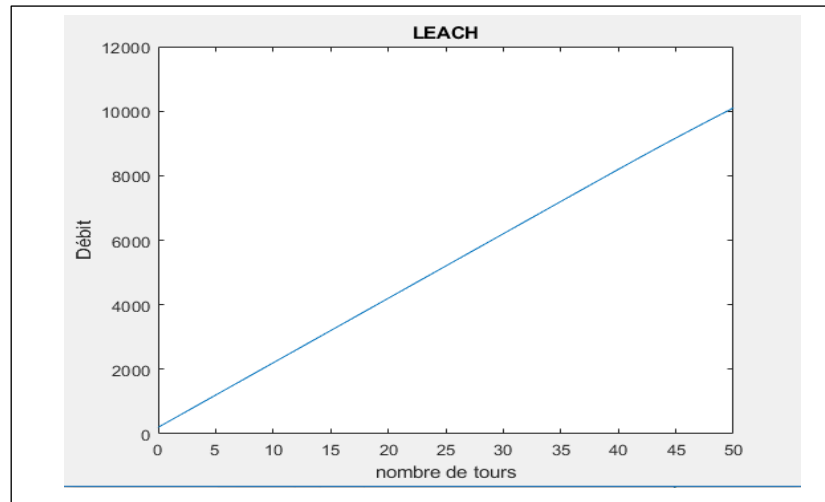


Figure 4.11: La somme de quantité de données reçues par SB et CH.

La figure (4.11) présente le résultat en termes de la somme de quantité de données reçues par la station de base et cluster Head jusqu'au round 50 avec un nombre de paquet important environ de 10101 messages.

7. L'énergie résiduelle moyenne :

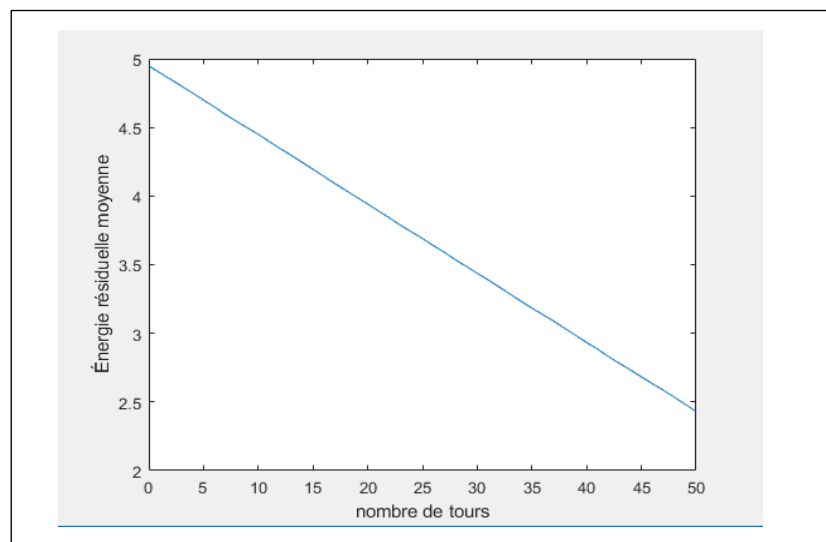


Figure 4.12: Energie résiduelle moyenne.

La figure (4.12) montre que la moyenne énergétique du réseau diminue quand le nombre de tour augmente. Cela revient au fait que durant un tour il y a des échanges de

messages entre les capteurs, alors la réception et l'envoi des messages consomme de l'énergie de capteur actif.

IV.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la simulation de protocole de routage LEACH sur MATLAB ainsi que les résultats obtenus après la simulation.

Les résultats de simulation prouvent que le protocole LEACH est capable de prolonger la durée de vie du réseau et améliore l'efficacité énergétique, ce qui augmente le taux de survie des nœuds.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Conclusion générale

À la fin de ce travail, nous avons découvert la façon de réaliser un projet, nous avons appris à savoir chercher, à savoir traiter les problèmes, et surtout à travailler collectivement et à s'aider pour enfin devenir capable et arriver à notre but.

L'utilisation des batteries par les capteurs est une contrainte critique dans les réseaux de capteurs. Aussi les capteurs sont parfois déployés sans surveillance et en grand nombre, de sorte qu'il est difficile de changer ou de recharger leurs batteries. Pour cela, les algorithmes et les protocoles de communication pour les réseaux de capteurs sans fil doivent minimiser la consommation d'énergie. Mais le taux de consommation énergétique des capteurs reste très variable selon les protocoles utilisés. Dans ce mémoire, nous nous sommes intéressés au problème de l'énergie et du routage dans les réseaux de capteurs sans fil. Parmi les solutions proposées dans la littérature pour offrir une meilleure prise en compte des ressources énergétiques du réseau. Nous avons simulé le fonctionnement de protocole LEACH sur MATLAB, afin d'évaluer ses performances telles que; le nombre des nœuds morts, le nombre des nœuds vivants, le nombre du cluster Head formé, la quantité de données envoyées à cluster Head et la quantité de données envoyées à la station de base en respectant l'économisation énergétique durant les rounds de simulation. Les résultats de simulation montrent que ce protocole est performant durant les différents rounds exécutés avec une consommation énergétique réduite et par conséquent, une prolongation remarquable de la durée de vie des réseaux.

Comme une perspective, et pour connaître les améliorations du protocole de routage LEACH, nous envisageons par la suite les perspectives suivantes :

- ✓ L'évitement toutes sorte d'envoi a de longues distances (d'un CHs vers la station de base) en intégrant une technique de routage multi-sauts (d'un CH vers ses voisins jusqu'à la station de base).
- ✓ La simulation du protocole sur un simulateur dédié aux RCSF comme NS2, OMNET++, ...etc.
- ✓ Comparaisons des protocoles LEACH avec ses extensions telles que (fire-LEACH,...).

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références Bibliographiques

- [1] H. Nabila et M. Salima <Simulation du Routage dans les Réseaux de Capteurs Sans Fils mémoire master en Informatique> Université A/Mira de Bejaïa , Année : 2016-2017 .Disponible sur :<<http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/6301/1/Evaluation-du-Protocole-Directed%20.pdf>> (Consulté le 22/12/2019).
- [2] Cours capteurs-intelligents **Disponible sur** : <<http://ibni.over-blog.com/article-cours-capteurs-intelligents-insa-87941667.html>> (Consulté le 22/12/2019).
- [3] S. Mounya Amal < Etude Du Rssi Pour L'estimation De La Distance Dans Les Reseaux De Capteurs Sans Fil>Mémoire de fin d'études Pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique, Université Abou BakrBelkaid–Tlemcen , Année : 2016-2017.
- [4] Tinyos **Disponible sur** : <http://www.tinyos.net/>, 2010 (Consulté le 22/12/2019).
- [5] A. Dunkels , B. Grönvall, et T. Voigt<Contiki: a Lightweight and Flexible Operating System forTiny Networked Sensors> In Proceedings of the First IEEE Works on Embedded Networked Sensors, pages 455-462, Tampa, Florida, USA, 2004.
- [6] Zone de couverture d'un capteur (zones CR et SR) **Disponible sur** : <<http://www.wigmlv.fr/~dr/XPOSE2006/Bunel/ZoneDeCouverture.html>> (Consulté le 22/12/2019).
- [7] A. BOUDRIES <Maintenance de la Connectivité dans les RéseauxAd hoc sans fil> Thèse de Doctorat de l'Université Ferhat Abbas de Sétif 1, Année : 2014.
- [8] K. LAKHDAR<La délivrance des données dans les réseaux véhiculaires à base desréseaux de capteurs sans fil>THESE DE MAGISTER Université A.MIRA-BEJAIA , Année : 2014-2015 .
- [9] M. Ilyas et I. Mahgoub.Handbook of <sensor networks Compact wireless and wired Sensing Systems>, ISBN 08493196864.CRC PRESS LLS, USA, 2005.
- [10] Sofiane MOAD <Optimisation de la consommation d'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil>Master recherche en 2ème année informatique Université : FSIC-Rennes 1, Laboratoire de recherche : DYONISOS-IRISA 2008
- [11] A. Abdelhalim et B. Mohammed< Conception d'un algorithme de routage basé sur l'heuristique du recuit simulé pour les réseaux de capteurs à grande échelle>, Mémoire de fin d'études Pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique, Université Abou BakrBelkaid- Tlemcen, 2012-2013.
- [12] Yasser Romdhane<Évaluations des performances des protocoles S-MAC et directed diffusion dans les réseaux des capteurs > rapport de projet de fin d'étude, école supérieure des communications de Tunis, 2007.
- [13] T. Allik, H. Makhlouf et N. Koulalene, <Mise en place d'un réseau de capteurs sans fil pour la surveillance des paramètres de production de l'unité de conditionnement d'huile au sein de Cévital>routage basé sur l'heuristique du recuit simulé pour les réseaux de capteurs à grande échelle> Mémoire de fin d'études Pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique Université abderrahmane mira béjaia, 2017.

Références Bibliographiques

- [14] Y.CHALLAL < Réseaux de capteurs sans fil>, cours Université de Technologie de Compiègne, France, 2008.
- [15] Kamel BEYDOUN < Conception d'un protocole de routage hiérarchique pour les réseaux de capteurs >, Thèse de Doctorat, U.F.R des Sciences et Techniques de l'université de Franche-Comté, Décembre 2009.
- [16] O. Younis et S. Fahmy, <HEED: a hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for ad hoc sensor networks >IEEE Transactions on mobile computing, no. 4, pp. 366-379, 2004.
- [17] D. Bouchra et B. Ahlem<Une nouvelle approche de clustering pour améliorer les performances des réseaux de capteurs sans fil >, Mémoire de fin d'études Pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique, Université Abou BakarBelkaid–Tlemcen, 2018-2019.
- [19] R. Guigourès, <Utilisation des modèles de co-clustering pour l'analyse exploratoire des données> Thèse, Université Panthéon-Sorbonne-Paris I, 2013.
- [20] J. HAN et M. KAMBER < Data mining: Concepts and techniques, Management Systems (The Morgan Kaufmann Series in Data Management Systems), MORGAN KAUFFMAN>, ISBN 1-55860-901-6, 2006.
- [21] P. RAI et S. SINGH, <A survey of clustering techniques>, International Journal of Computer Applications (0975 - 8887) Volume 7- No.12, October 2010.
- [22] J. HAN et M. KAMBER, Data mining : Concepts and techniques, (The Morgan Kaufmann Series in Data Management Systems),MORGANKAUFFMAN, ISBN 1-55860-901-6, 2006.
- [23] H. Saddek et I.Tayeb<Clustering : Approche par la théorie des jeux > Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master en recherche opérationnelle, Université Mira Abderrahmane de Bejaïa ,Année : 2013.
- [24] F. Xiangning et S. Yulin, <Improvement on LEACH protocol of wireless sensor network > in 2007 International Conference on Sensor Technologies and Applications (SENSORCOMM 2007), 2007, pp. 260-264: IEEE.
- [25] Y. Lei , F. Shang , Z. Long et Y. Ren, <An energy efficient multiple-hop routing protocol for wireless sensor networks > in 2008 First International Conference on Intelligent Networks and Intelligent Systems, 2008, pp. 147-150: IEEE.
- [26] P. Mishra , C.Gandhi et B. Singh <An Improved Greedy Forwarding Scheme in MANETs> Department of Computer Science and Information Technology, JIIT, Noida, U.P., India School of Computer and Systems Science, JNU, Delhi, India.
- [27] A. Mahboub , M. Arioua et E. M. En-Naimi, <Energy-Efficient Hybrid K-Means Algorithm for Clustered Wireless Sensor Networks > International Journal of Electrical & Computer Engineering (2088-8708), vol. 7, no. 4, 2017.

Références Bibliographiques

[28] Cours LEACH **Disponible sur :**

<https://moodle.utc.fr/file.php/498/SupportWeb/co/Module_RCSF_78.html>
(Consulté le 23/06/2020).

[29] K. Akkaya, et M. Younis, <A Survey on Routing Protocols for Wireless Sensor Networks>Journal of Ad Hoc Networks, Vol. 3, No. 3, May 2005, pp. 325-349.

[30] Abdelkader TOUDJI et Abdallah DLIMI <Une approche hybride pour conception d'un protocole de routage multi-saut dans les réseaux de capteur sans fil >, Mémoire de fin d'études Pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique, Université Ahmed Draia - Adrar, 2016-2017.

[31] BARMATI Mohammed Elsadiq et YUCEFI Hanane<Proposition d'un protocole de routage efficace en énergie basée sur une approche inspirée de la nature dans un réseau de capteur sans fil>Mémoire de fin d'étude, en vue de l'obtention du diplôme de Master en informatique, Université Ahmed Draia– Adrar 2017-2018.

[32] Mohammed Hadadj et Malek KHENFER<Étude comparative entre les protocoles de Routage RCSF> Mémoire MASTER PROFESSIONAL en informatique UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA 2016-2017.

[33] Bilami Azeddine < protocole de routage pour les réseaux de capture sans fil> MEMOIRE DE MAGISTERE EN INFORMATIQUE Université de l'Hadj Lakhdar-Batna, Faculté des sciences de l'ingénieur, Département d'informatique. Promotion 2007-2008.

[34] KHIATI Mustapha <Impact de la technique duty-cycle sur la diffusion globale dans les réseaux de capteurs sans fil RCSF > THESE DE MAGISTER Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene (USTHB)Faculté d'électronique et d'informatique, département d'informatique.

[35] Extensions du protocole LEACH exemples **Disponible sur :**

<https://books.google.dz/books?id=UgxmDwAAQBAJ&pg=PA54&lpg=PA54&dq=extensions+du+protocole+LEACH+exemples&source=bl&ots=vAmUGZjVIv&sig=ACfU3U2RXxE_bc0XcDBB9Ao47uxN9pgWQ&hl=fr&sa=X&ved=2ahUKEwj0rO3LnZ_qAhX5A2MBHZzeCfwQ6AEwAXoECAoQAQ#v=onepage&q=extensions%20du%20protocole%20LEACH%20exemples&f=false> Consulter le (26/06/2020).

[36] Internet of things limitations of LEACH **Disponible sur :**

protocol<<https://books.google.dz/books?id=VAG7BQAAQBAJ&pg=PA106&lpg=PA106&dq=internet+of+things+limitations+of+LEACH+protocol&source=bl&ots=o8kydz5vzX&sig=ACfU3U16I0YhRbcbcJRxDUGp10P2FIDniw&hl=fr&sa=X&ved=2ahUKEwj3y5TSrKDqAhVSCxoKHQpkBgMQ6AEwA3oECAoQAQ#v=onepage&q=internet%20of%20things%20limitations%20of%20LEACH%20protocol&f=false>> Consulter le (26/06/2020).

[37] Wendi B Heinzelman , Anantha P Chandrakasan et HariBalakrishnan<An Applicationspecific protocol architecture for wireless microsensor networks > Wireless Communications, IEEE Transactions on, 1(4) :660 670, 2002.

Références Bibliographiques

[38] AN ENERGY efficient extended LEACH (EEE LEACH) Rapport 2012 international Conference on Communication Systems and Network Technologies
Disponiblesur:

<https://scholar.google.com/scholar?q=AN+ENERGY+efficient+extended+LEACH&hl=fr&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholart%20https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6200608/> Consulter le (27/06/2020).

[39] Mohammed , Hichem MEKIDICHE et RAIS<La géolocalisation de réseaux capteurs (algorithme DVHOP)>, Mémoire de fin d'études Pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique, Université Abou BakarBelkaid à Tlemcen Algérie 2011-2012.

[40] Capteur intelligent **Disponible sur :**

<https://www.google.com/search?q=capteur+intelligent&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwi39uWg8P7qAhVhaRUIHWbLCb0Q_AUoAXoECAsQAw&biw=1366&bih=614#imgsrc=J98Uptz2LBnCIM> Consulter le (03/08/2020).

[41] Kevin DZALI et Blaise VESSAH <Systemes embarques : réseaux de capteurs et informatique ubiquitaire> Mémoire Master 2 en Informatique 2012-2013

Disponible sur :

<https://www.memoireonline.com/05/13/7188/m_Systemes-embarques--reseaux-de-capteurs-et-informatique-ubiquitaire4.html> Consulter le (03/08/2020).

[42] Pile protocolaire des réseaux de capteurs sans fil **Disponible sur :**

<https://www.researchgate.net/figure/Pile-protocolaire-des-reseaux-de-capteurs-sans-fil_fig10_324430221> Consulter le (04/08/2020).

[43] Yacine CHALLAL < réseau de capteur sans fil >, support de cours, 17/11/2008.

[44] Exemple Destination Sequenced Distance Vector (DSDV) **Disponible sur :**

<https://www.researchgate.net/figure/Example-of-Routing-Table-in-DSDV_fig2_302978717> Consulter le (04/08/2020).

[45] Exemple Optimized Link State Routing (OLSR) **Disponible sur :**

<https://www.researchgate.net/figure/Example-of-an-OLSR-network_fig2_260706262> Consulter le (04/08/2020).

[46] Routage géographique **Disponible sur :**

<https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Ffr.qwe.wiki%2Fwiki%2FGeographic_routing&psig=AOvVaw2AWu3rjYmtuCOjZz7whGo4&ust=1596657075926000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCNiO_KOpqusCFQAAAAAdA AAAABAD> Consulter le (04/08/2020).

[47] M. GHEBBI Sofiane<Conception d'un protocole de routage hiérarchique pour les réseaux de capteurs sans fil >MEMOIRE DE MASTER RECHERCHE, Université A/Mira de Béjaia Faculté des Sciences Exactes, 2016.

[48] Cours MATLAB **Disponible sur :**

<<https://perso.univrennes1.fr/stephane.balac/matlab/matlab.pdf>> Consulter le(6/8/2020).

Références Bibliographiques

[49] A. Naima et R. Kheira<Simulation de la surveillance des réseaux de capteurs sans fil (RCSF) sous Omnet++> Mémoire Pour l'obtention du diplôme de MASTER UNIVERSITE IBN KHALDOUN – TIARET , 2019.

[50] Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (73) No. (1) 5112.